

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTE
URBANO**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

PAULO ROBERTO WOLLINGER

Florianópolis, Fevereiro de 2003

ESTUDO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTE URBANO

PAULO ROBERTO WOLLINGER

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Compatibilidade Eletromagnética e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina’.

Professor Adroaldo Raizer, Dr.
Orientador

Professor Edson Roberto De Pieri, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Adroaldo Raizer, Dr.
Presidente

Prof. Luiz Henrique Alves de Medeiros, Dr.

Prof. Jeferson Luiz Brum Marques, Dr.

Prof. Elisete Ternes Pereira, Dra.

À

Leopoldo e Maria Rita,
pelo orgulho de ser seu filho!

Agradecimentos:

Prof. Adroaldo
pela tolerância e apoio nas dificuldades.

Charles

Dalla Rosa

Djony

Golberi

Hugo

Jony

Milton

Muriel

Amigos do GEMCO, pela inestimável ajuda.

V

Dalla Rosa

Milton

Cuja ajuda viabilizou as medições de campo.

Elisabete

Flávio

Laurete

Nandi

Rita

Amigos do NTC pelo incentivo.

A todos minha impagável gratidão!

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ESTUDO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTE URBANO

PAULO ROBERTO WOLLINGER

Fevereiro de 2003

Orientador: Professor Adroaldo Raizer, Dr.

Área de Concentração: Compatibilidade Eletromagnética

Palavras-chave: Eletromagnetismo, efeito biológico da radiação.

Número de páginas: 81

Resumo:

A regulamentação nacional e internacional sobre limitação da exposição à radiação eletromagnética não resolve a polêmica sobre efeito biológico da radiação de radiofrequência, por outro lado tem havido muita discussão, pesquisa e indicativos de que mesmo em níveis abaixo dos limites estabelecidos nas normas existe risco biológico dessa radiação. Muitas cidades brasileiras têm legislado sobre limitação a campos eletromagnéticos, muitas vezes sem justificativa plausível. Em 02 de Julho de 2002, o Conselho Diretor da Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, aprovou a Resolução nº 303, sobre a limitação da exposição à radiação eletromagnética, o que começa a resolver parte da discussão. Como contribuição ao equacionamento da polêmica, o presente estudo revisa a literatura e pesquisas sobre os efeitos biológicos da radiação eletromagnética, analisa a elaboração das normas e as definições de seus limites, bem como realiza medição do campo eletromagnético em um ambiente urbano típico brasileiro, uma cidade de médio porte - Florianópolis; contribuindo, não para a solução do problema, mas para seu sensato encaminhamento. Por fim, conclui ser necessária a observância aos limites das regulamentações, pela avaliação in loco dos níveis de campo eletromagnético, através do permanente monitoramento, bem como que a continuidade da pesquisa sobre efeitos biológicos, deixe o plano das especulações, para definições mais precisas e viáveis para a sociedade tecnológica.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION IN URBAN ENVIRONMENT

PAULO ROBERTO WOLLINGER

February 2003

Advisor: Professor Adroaldo Raizer, Dr.

Area of Concentration: Electromagnetic Compatibility

Keywords: Electromagnetism, biological effect of radiation.

Number of pages: 81

Abstract:

National and international regulation on limiting exposure to electromagnetic radiation, do not solve the polemics about the biological effect of radiofrequency radiation, on the other side lots of discussion comes up, research e suspect that even in levels below the limits, there are biological risks from this fields. Many Brazilian cities have being approved laws limiting exposure to electromagnetic fields. In July 2th ANATEL (the Brazilian Telecommunications Agency), approved regulation about the limits of exposure to electromagnetic radiation, as a start to solve this discussion. As a contribution to comprise the polemic issue, we review the literature and research about the biological effects of electromagnetic radiation, we also analyze the process of elaboration of Guidelines and Standards and its limits definitions, as well as we implemented some measurements of electric fields in a typical Brazilian urban environment. We want to contribute, not really to the solution of the problem, but to its scientific approach. We conclude that in obeying the standard limits, through in site assessment of the field levels, by permanent monitoring, and the continuous scientific research on biological effects, will help us to leave the speculation towards more precise and affordable definitions to our technological society.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	01
1.1 INTRODUÇÃO	01
1.2 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA: HISTÓRIA & CIÊNCIA	03
1.3 EFEITO E RISCO BIOLÓGICO DA RADIAÇÃO	06
1.4 ESTADO DA ARTE	07
1.5 NORMAS E SEUS LIMITES DE EXPOSIÇÃO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	20
2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA – TEORIA DE CAMPOS	20
2.2 EFEITO BIOLÓGICO – FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS	22
2.3 ELABORAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DAS NORMAS	26
2.4 EFEITO BIOLÓGICO EM BAIXAS FREQUÊNCIAS	49
2.5 EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA A MÚLTIPLAS FREQUÊNCIAS	52
2.6 INTERFERÊNCIA SOBRE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	54
2.7 O CONTROVERSO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO	54
3. NÍVEIS URBANOS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	57
3.1 ARGUMENTO PRELIMINAR	57
3.2 EQUIPAMENTO	60
3.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO	62
3.4 PROTOCOLO DE MEDIÇÃO	64
3.5 RESULTADO DAS MEDIÇÕES	65
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS – CONCLUSÕES	74
4.1 AVALIAÇÃO EM RELAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO	74
4.2 AS FAIXAS MAIS CRÍTICAS – VALORES RELATIVOS	77
4.3 A POLÊMICA CONTINUA	78
REFERÊNCIAS	80

ESTUDO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM AMBIENTE URBANO

1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

1.1 INTRODUÇÃO

Polêmica! É a situação da tecnologia de comunicação por todo o país. Alguns municípios legislam sobre informações distorcidas ou infundadas, a imprensa repetidamente traz alerta sobre o risco à saúde dos dispositivos eletromagnéticos. Um misto de desinformação e pouco rigor científico pairam sobre recentes tecnologias de comunicação.

Existem pesquisas de toda ordem sobre os efeitos biológicos da radiação eletromagnética, todos os importantes centros de pesquisa concernentes no mundo têm algum experimento, estudo ou simulação sobre a radiação em seres vivos, mas nenhum grande instituto, nem mesmo respeitadas instituições como: IEEE, OMS, IEE, Royal Society, entre outras, afirmam haver quaisquer riscos biológicos da radiação eletromagnética, quando obedecidos os limites das normas.

A telefonia celular tem trazido a maior parte da polêmica sobre radiação e saúde, notadamente pela proliferação de suas antenas das Estações Rádio-Base (ERB), espalhadas pelas cidades. Algumas conclusões precipitadas partem da associação entre sistemas de telecomunicação e fornos domésticos de microondas.

Os principais organismos de controle e pesquisa sobre radiação eletromagnética têm contribuído para a definição de normas, cujos limites estão muito abaixo de serem detectados efeitos biológicos, em tese, níveis seguros à saúde.

Todos os organismos de normatização internacionais, que adotam valores limite para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, alertam para a possibilidade de que seus limites sejam revistos, para cima ou para baixo, conforme as pesquisas e estudos sobre o assunto condicionem sua redefinição.

Há muitos pesquisadores estudando os efeitos biológicos da radiação eletromagnética, basicamente sob três técnicas:

Epidemiologia: estudando o desenvolvimento de anormalidades em populações, tais como câncer e outras doenças, alguns indicativos têm sido publicados, mas nenhum estudo tem podido ser replicado, ou a metodologia é falha, ou ainda os resultados apresentam tão ínfima margem estatística, que se confundem com erros intrínsecos.

Estudos in vivo: através de cobaias sujeitas a campos com intensidades e tempo similar aos que estão sujeitos os humanos. Alguns resultados têm se verificado como contribuição ao desenvolvimento de doenças já estabelecidas, mas nem a extensão aos seres humanos é direta, nem os resultados têm sido replicados.

Estudos in vitro: tecidos humanos são submetidos à radiação e estudados seus efeitos, entretanto é a área mais polêmica nos estudos, uma vez que tecidos isolados têm desempenho bioquímico e comportamento adversos de quando compõem um organismo.

Uma questão de fundamental importância nesta análise, mas de pouca atenção do mundo científico é: quais os valores de radiação eletromagnética a que se está exposto? Desdobre-se:

- Quais os valores ao longo de todo o espectro de radiofrequências?
- Onde estão as maiores taxas de absorção de energia eletromagnética e quais os valores nestes intervalos?
- Quais fontes de radiação eletromagnética são responsáveis pela emissão de maior energia, onde se situam?
- Nossos aglomerados urbanos têm cada vez mais aumentada sua concentração populacional, onde mais tecnologia envolvendo radiação eletromagnética é disponibilizada, quais os valores dessa radiação, considerando a geografia e a concentração de antenas e outros emissores?
- Quais recomendações e normas se aplicam à limitação da exposição?
- Como são elaboradas estas normas? Como é fiscalizada sua aplicação?
- Quais as perspectivas dos estudos sobre os efeitos e riscos da radiação não ionizante?

Essas são algumas das perguntas que pretendemos discutir no presente trabalho, se não para responder, ao menos para posicioná-las de forma científica na discussão sobre o efeito biológico da radiação eletromagnética.

1.2 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA: HISTÓRIA & CIÊNCIA

Grande parte da polêmica sobre os efeitos biológicos da radiação eletromagnética tem sua origem remota, nos primórdios da ciência e tem caráter mais filosófico do que científico, margeando sempre o limiar entre a biologia e a física.

Na Grécia antiga, com Hipócrates, formulou-se a teoria de que todas as funções dos seres vivos derivavam de “humores”, líquidos de místicas propriedades fluindo pelo organismo. Ao mesmo tempo o corpo continha ainda a “anima”, a alma, o espírito que o tornava vivo.

À medida que a ciência foi-se separando da filosofia, conceitos baseados na observação e dissecação foram sendo solidificados, mas a diferenciação do que era vivo e não-vivo sempre envolvia aspectos filosóficos.

Na Renascença, quando o método científico estabeleceu-se como ferramenta única capaz de revelar a verdade sobre a natureza e a sociedade, os limites da física e da biologia foram aproximados pela descoberta de fenômenos elétricos nos seres vivos.

Pode-se identificar duas grandes “escolas” filosóficas na biologia e, por conseguinte, nas demais ciências: o vitalismo e o mecanicismo, sobre os quais aqui se resumem os principais argumentos.

1.2.1 Vitalismo

Surgido da idéia de “anima” ou da “vis viva”, defende o princípio de que a força natural ou a energia que diferencia o vivo do não-vivo é a eletricidade, ou o bioeletromagnetismo, plenamente justificado pelos potenciais de ação que percorrem as células nervosas, transmitindo informação e controle. Por essa razão, os vitalistas não aceitam o efeito Joule como único fenômeno sobre os seres vivos, argumentando que efeitos biológicos não-térmicos ocorrem com valores muito abaixo dos limites definidos nas normas e diretrizes.

Os efeitos não-térmicos são divididos em duas grandes categorias: os que envolvem funções gerais ou especializadas do sistema nervoso central e os que envolvem o crescimento pós-embrionário e a regeneração de tecidos.

Os efeitos sobre o sistema nervoso central incluem a produção de anestesia por corrente elétrica (eletrochoque ainda é usado no tratamento de vários distúrbios neurológicos e psiquiátricos), o sistema de navegação que orienta pombos baseado no magnetismo terrestre, a relação entre a inversão do campo magnético da terra e o desaparecimento de muitas espécies em eras geológicas.

Os efeitos sobre o crescimento incluem a alteração no desenvolvimento dos ossos sob efeito de campos eletromagnéticos, a inibição do crescimento de tumores por corrente ou campo eletromagnético, dentre outros.

A principal crítica aos pensadores desse grupo é que dão margem a todo tipo de charlatanismo, oportunismo e “eletrofobia”, justificando o comércio de um sem-número de aparatos para “proteger” contra a radiação.

1.2.2 Mecanicismo

As equações de Maxwell resumindo em um pequeno conjunto de equações a relação entre eletricidade e magnetismo de forma completa, a teoria de Darwin sobre a origem das espécies, especialmente a seleção natural são o principal argumento nesta escola de pensamento.

O charlatanismo e a fraca argumentação sobre o princípio vital fizeram com que a maior parte da ciência contemporânea se tornasse mecanicista, determinando que a eletricidade e seus fenômenos pertencem exclusivamente à física. Os fenômenos biológicos são completamente explicados em termos bioquímicos.

A separação das ciências físicas das biológicas, por força de suas especializações e desdobramentos tem contribuído para acentuar a negação ao bioeletromagnetismo.

A principal crítica aos pensadores desse grupo é que são subsidiados por grandes interesses corporativos envolvidos na indústria das telecomunicações.

1.2.3 Filosofia e Ciência

Toda observação, análise, conceituação e dedução sobre a natureza e a sociedade – a ciência é precedida por uma visão de mundo da qual se abstraem as formas de conduta – a filosofia. Dessa forma, o fenômeno ideológico – os interesses objetivos e subjetivos sobre nossa relação como espécie - não pode deixar de ser considerado na avaliação da polêmica aqui levantada.

A abordagem sobre o efeito biológico da radiofrequência não depende apenas do desenvolvimento da física, do aprofundamento da análise eletromagnética, mas também das pressões, argumentos e influência dos vários

grupos sociais envolvidos: cada grupo de pesquisa tem uma abordagem filosófica do problema, a partir de seus referenciais, aspectos que devem ser considerados na busca de soluções tanto sociais quanto técnicas.

1.3 EFEITO E RISCO BIOLÓGICO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Não há afirmação de que a radiação eletromagnética seja inofensiva aos tecidos vivos, mas também de que não é algo pernicioso e incontrolável. Suas vantagens para o incremento da qualidade de vida estão tão impregnadas em nosso *modus vivendi*, que não nos damos conta de sua importância, mas cada vez que um sistema elétrico, seja de energia, de comunicação ou de produção falha, os prejuízos são enormes.

Um efeito biológico ocorre quando uma mudança pode ser medida em um sistema biológico, após a introdução de um determinado estímulo. A observação de um efeito biológico, por si só, entretanto, não necessariamente sugere a existência de um perigo biológico. Um efeito biológico somente se torna um risco à segurança quando causa uma falha verificada na saúde de um indivíduo ou de sua descendência [6].

Como em quaisquer outros sistemas tecnológicos, é preciso adotar uma postura crítica em relação a conhecer ao máximo os efeitos da radiação eletromagnética, criando formas de proteção para que seu uso seja o mais seguro possível.

Por outro lado, a ignorância e o oportunismo fazem surgir terapias milagrosas da aplicação de campos magnéticos e radiação eletromagnética, na maioria das vezes, carentes de confirmação científica, mas mitigadas por explicações transcendentais ou místicas, que só fazem explorar a boa fé ou a ignorância de pessoas humildes ou desinformadas.

Somando-se a isso a “desconfiança ao novo”, que alimenta o imaginário popular, criando e disseminando tragédias sobre o uso de novas tecnologias, estimulando um ambiente de severa crítica a sistemas tão complexos e sofisticados como a comunicação móvel celular, o computador, a Internet, entre outros.

Nesse contexto, a principal preocupação deste trabalho é recolher evidências sobre os efeitos biológicos da radiação eletromagnética, como orientação para um melhor uso dessas tecnologias cada vez mais importantes para a qualidade de vida individual e social.

1.4 ESTADO DA ARTE

1.4.1 Efeito Biológico da Energia de Radiofrequência

Há muitos relatórios científicos sobre possíveis efeitos biológicos da exposição de animais e humanos à energia de radiofrequência (RF). Apresentamos alguns argumentos sobre essa polêmica.

Os efeitos biológicos resultantes do aquecimento dos tecidos pela energia de RF são normalmente chamados “efeitos térmicos”. É sabido há muitos anos que a exposição a intensos níveis de radiação de RF pode ser perigosa devido à rápida produção de calor nos tecidos biológicos. Esse é o princípio pelo qual os fornos de microondas cozinham os alimentos. A exposição a níveis elevados de densidade de potência de RF, isto é, da ordem de 100 mW/cm^2 ou mais, certamente resulta em aquecimento de tecido vivo e um aumento na temperatura do corpo. O dano a tecidos humanos pode ocorrer durante a exposição à radiação de RF pela incapacidade do corpo de dissipar o calor excessivo que pode ser gerado. Sob certas condições, a exposição à energia de RF a níveis de densidade de potência de 1 a 10 mW/cm^2 resulta em mensurável aquecimento do tecido biológico (mas não necessariamente dano ao tecido). A extensão desse aquecimento pode depender de vários fatores, incluindo a frequência da radiação, forma e orientação do objeto exposto, duração da exposição, condições ambientais e eficiência na dissipação de calor.

Duas áreas do corpo, os olhos e os testículos, são particularmente reconhecidos como vulneráveis ao aquecimento por RF, devido a sua relativa falta de fluxo sanguíneo para dissipar a excessiva carga de calor (a circulação sanguínea é um dos principais mecanismos do corpo para dissipar calor). Experimentos de laboratório têm mostrado que a exposição de curto período (p.

ex. de trinta minutos a uma hora), a níveis elevados de radiação de RF (100 a 200 mW/cm²) pode causar catarata em coelhos. Esterilidade temporária, causada por tais efeitos, como a redução na quantidade de espermatozóides e em sua mobilidade é possível após exposição dos testículos a elevados níveis de radiação de RF (ou outras formas de energia que produzam semelhante aumento de temperatura).

Estudos têm mostrado que os níveis ambientais de energia de RF, rotineiramente encontrados pelo público em geral, estão muito abaixo dos níveis necessários para produzir aquecimento significativo, como o aumento da temperatura do corpo. Há, entretanto, situações, particularmente em ambientes de trabalho, próximo a fontes de alta potência de RF, em que os limites recomendados para exposição segura são ultrapassados; nesses casos, medidas restritivas ou ações devem ser tomadas para garantir o uso seguro da radiação de RF [1].

Além da intensidade, a frequência da onda eletromagnética pode ser importante para a determinação de quanta energia será absorvida e o conseqüente risco potencial. A quantidade usada para caracterizar essa absorção é chamada “taxa de absorção específica” (specific absorption rate), “SAR”, sendo usualmente expressa em watts por quilograma (W/kg) ou miliwatts por grama (mW/g). No campo distante de uma fonte de radiação de RF (por exemplo, a vários comprimentos de onda da fonte), a absorção de corpo inteiro da energia de RF por um adulto em pé, tem uma taxa máxima quando a frequência está entre 70 e 100 MHz, dependendo das dimensões do indivíduo. Em outras palavras, a SAR está no máximo nessas condições. Devido a esse fenômeno, as normas de segurança de RF levam em consideração a dependência da frequência de corpo inteiro com a absorção. Assim, os limites mais restritivos de exposição são encontrados nesta faixa de frequência, as frequências muito altas ou VHF (very high frequency).

Os relativamente baixos níveis de exposição à radiação de RF, isto é, intensidades de campo abaixo daquelas que produziriam calor mensurável, a evidência de ocorrência de efeitos biológicos é ambígua ou improvável [8]. Tais efeitos são algumas vezes denominados “não-térmicos”. Há alguns anos, publicações surgiram na literatura científica, mundo afora, relatando observações

sobre uma vasta gama de efeitos biológicos em baixo nível de radiação. Em muitos desses casos, entretanto, a pesquisa experimental mais tarde, foi incapaz de reproduzir tais efeitos; além do mais, não há qualquer determinação de que esses efeitos indiquem perigo à saúde humana, particularmente no que concerne à exposição por longo período.

Recentemente, outros laboratórios científicos nos EUA e Europa têm relatado alguns efeitos biológicos após a exposição de animais (in-vivo), bem como tecido animal (in vitro), para baixos níveis de radiação de RF. Tais relatórios incluem certas mudanças no sistema imunológico, efeitos neurológicos, alteração de comportamento, evidência para uma ligação entre exposição a microondas e a ação de certas drogas e seus compostos, um efeito tipo “efluxo de cálcio” no tecido cerebral (exposto a situações muito específicas) e efeitos no DNA [7].

Alguns estudos também têm examinado a possibilidade de uma ligação entre a exposição à radiação de RF (e microondas) e o câncer. Até agora os resultados têm sido inconclusivos. Enquanto alguns dados experimentais sugerem uma possível ligação entre a exposição e a formação tumoral em animais, expostos sob certas condições muito específicas, os resultados não têm sido reproduzidos em experimentos independentes. De fato, outros estudos têm falhado em encontrar evidência causal com o câncer em quaisquer condições relatadas. Muitas pesquisas estão em andamento em diversos laboratórios para ajudar a resolver essa questão.

De forma geral, a possibilidade de existir efeito biológico não-térmico, podendo ou não tal efeito indicar perigo à saúde humana, ainda é uma incógnita. Muita pesquisa ainda é necessária para determinar a abrangência de tais efeitos e sua possível relevância, se houver, para a saúde humana. Enquanto isso, as organizações de normatização e agências governamentais continuam a monitorar as mais recentes descobertas, para confirmar a validade e determinar onde alterações de limite tenham que ser efetuadas para proteger a saúde humana.

1.4.2 O Caso Polêmico: Telefonia Móvel Celular

Presentemente a maior polêmica está na possibilidade de efeitos biológicos dos telefones celulares sobre humanos, notadamente sobre o cérebro, por ser esta a área mais intensamente afetada pela radiação das antenas dos telefones móveis. Destaque-se ainda que quanto maior a frequência, maior a energia do sinal, portanto mais intensos seus efeitos. Assim, como os telefones celulares situam-se na faixa mais alta de frequência do espectro de comunicação, mais preocupantes seus efeitos podem ser [6].

Outra grande polêmica é quanto à presença de antenas transceptoras (chamadas estações rádio-base - ERB) próximas a residências, escolas ou locais de trabalho, onde se permanece por longos períodos. Questão especialmente levantada por aqueles que não utilizam os sistemas de telefonia móvel, mas sentem-se afetados pela possível ação nociva da radiofrequência.

Muita alegação tem havido, na mídia e nos tribunais, de que os telefones celulares e outros transceptores portáteis causam câncer. Também tem havido muita objeção à instalação de antenas de TV, rádio ou de telefonia celular, pelo temor que estas induzam ao câncer. Uma publicação de 1997, sugerindo que excessiva exposição a radiofrequências pode aumentar a incidência de linfoma em ratos, contribui ainda mais para a polêmica [27].

As evidências epidemiológicas de uma associação entre radiação de RF e câncer são inconsistentes, os estudos de laboratório geralmente não sugerem que a radiação de RF tenha atividade genotóxica¹ ou epigenética², portanto a ligação entre telefone celular e o câncer é fisicamente ainda improvável. De forma mais ampla, os estudos têm indicado que uma relação causal entre telefone celular e câncer é muito fraca ou inexistente [24].

Estima-se que haja mais de duzentos milhões de telefones celulares em operação no mundo. O amplo uso do celular e outros tipos de transmissores portáteis têm trazido a discussão sobre seus possíveis efeitos nocivos à saúde, particularmente sobre o câncer de cérebro, pois a antena fica próxima a cabeça durante seu uso.

¹ Genotóxica – propriedade de alteração do genoma de um organismo, produzindo efeitos adversos na prole.

² Epigenético – modificação das características do organismo devido a alterações na informação genética, sem mudança no genoma, o que ocorre na transformação de células normais para cancerosas.

Essa questão surgiu em 1993, quando um homem reclamou, num programa popular de TV nos Estados Unidos, que o câncer de cérebro de sua esposa foi causado pela radiofrequência do telefone celular. O processo foi arquivado em 1995, por falta de evidência médica e científica para a petição, mas a questão entrou para a discussão pública. Desde então, têm havido numerosas alegações na mídia e nos tribunais de que os telefones celulares e outros transceptores portáteis causam câncer.

A biofísica, a epidemiologia e os estudos de laboratório, relevantes para a determinação do risco potencial da radiação de RF dos telefones celulares, estão sintetizadas na tabela 01. Uma avaliação biofísica indica ser implausível supor que a radiação de RF dos telefones celulares possa ter alguma atividade biológica em potência sub-térmica, característica das intensidades geradas pelos celulares. Os estudos epidemiológicos publicados sobre radiação de RF e câncer não sugerem uma associação causal, mas estes estudos ainda são poucos e têm deficiências quanto à avaliação da exposição. Os estudos sobre os celulares, em geral, são limitados aos testes de genotoxicidade. Embora alguns desses estudos tenham sugerido a possibilidade de genotoxicidade, por força das evidências, a radiação de RF não é genotóxica. A avaliação do potencial epigenético da radiação de RF em cultura de células tem sido mínima e os melhores resultados têm sido duvidosos. Os estudos de exposição de animais por longos períodos não apresentam evidência convincente de que a exposição prolongada produza efeitos negativos à saúde geral, nem mesmo que a radiação de RF produza efeito genotóxico em animais. Alguns dos estudos de exposição prolongada, entretanto, sugerem a possibilidade de que a radiação de RF tenha efeito epigenético, particularmente em elevados níveis de exposição.

Uma avaliação pela “força-da-evidência” conforme a tabela 01, indica que a evidência para uma associação causal entre a exposição à radiação de RF e o risco de câncer é fraca. Relevantes dados em algumas áreas, no entanto, são esparsos. A evidência epidemiológica é particularmente limitada, ainda que tenha havido uma pequena perspectiva de melhora, por que populações sujeitas a altas exposições são pequenas, fazendo da avaliação ainda é um sério problema. O estudo de exposições prolongadas de animais ainda é fraco. Ainda que quatro grandes estudos tenham sido publicados recentemente, todos foram realizados

com animais pré-dispostos a tumor, todos usaram apenas um protocolo de exposição. Estudos de exposição prolongada de animais normais (em oposição aos pré-dispostos a câncer) com múltiplos níveis de exposição e dosimetria de alta qualidade seriam de grande valor, mas tais estudos são caros e tecnicamente desafiantes. Acrescente-se, que dois dos estudos de exposição prolongada, requerem replicação [8]. Avaliações futuras da possibilidade de que a radiação de RF apresente atividade epigenética em potências sub-térmicas seria muito útil, ainda que haja pouco argumento biológico para justificar o projeto de tais estudos.

Critério	Evidências Atuais
Quantidade e qualidade da evidência epidemiológica	Dados limitados: pobres ou completamente falhos
Intensidade da associação epidemiológica	Nenhuma ou fraca – risco relativo de 0,6 a 2,5
Consistência epidemiológica	Estudos não mostram associação consistente entre a exposição e específicos tipos de câncer, consistentemente não há associação entre a exposição e câncer em geral.
Relação exposição-resposta	Mesmo os estudos que mostram alguma associação, revelam pouca ou nenhuma evidência para uma relação exposição-resposta.
Número de evidências de laboratório relevantes para avaliar a genotoxicidade	Extensivos estudos de genotoxicidade em cultura de células, mas apenas estudos limitados sobre exposição total de animais.
Força das evidências de laboratório	Estudos celulares fortemente inconsistentes, estudos de animais pouco consistentes.
Número de evidências de laboratório relevantes para avaliar atividade epigenética	Poucos estudos celulares relevantes, alguns estudos com animais.
Força das evidências de laboratório da atividade epigenética	Algumas evidências não-replicadas de atividade epigenética para elevados (possivelmente térmicos) níveis de exposição
Coerências com a física da radiação de RF	Efeitos biológicos substanciais são improváveis para níveis de exposição sub-térmicos.
Conexão causal	Nada na epidemiologia, biologia ou biofísica, sugere uma associação, apenas poucos estudos de exposição animal de longa duração, nenhuma significativa epidemiologia.

Tabela 01 – Avaliação pela *força da evidência* [8] e [11]

Tem sido freqüentemente dito que os riscos da exposição à radiação de RF, se real, são muitos baixos para alguma significância à saúde pública. Se,

porém, o risco de câncer sugerido por alguns estudos for real, então a radiação de RF pode ser concebível como uma significativa causa ambiental para o câncer. Se uma exposição afeta muitas pessoas e o resultado é extremamente adverso (o câncer pode ser), mesmo um pequeno incremento na incidência pode representar um sério risco para a saúde pública.

Somente se for demonstrado que a radiação de RF é carcinogênica e se houver alguma compreensão das condições nas quais tais riscos ocorrem, medidas efetivas podem ser tomadas para proteger a saúde pública. Tal assunto, todavia, é um dos de mais difícil identificação, isto é, a radiação de RF causa ou contribui para o câncer sob condições de exposição que sejam relevantes para a saúde humana? Mesmo após décadas de estudo não se tem identificado a radiação de RF como carcinogênica. Por outro lado, também é certo que não se pode provar que o risco à saúde pela exposição à radiação de RF dos telefones celulares seja impossível. A natureza intrínseca da pesquisa e do método científico sempre admite conclusões abertas e descobertas inesperadas. Pesquisa adicional em laboratório ou epidemiológica podem resolver algumas dessas incertezas, mas não é plausível esperar uma certeza definitiva em curto prazo.

Em parte, a controvérsia sobre campos eletromagnéticos e câncer reflete as intrínsecas dificuldades sobre a avaliação do risco de câncer. É relativamente fácil provar que a exposição a um agente não esteja associada estatisticamente ao significativo aumento na incidência de um tipo específico de câncer, sob específicas condições de exposição. É impossível, contudo, provar que a exposição não tem associação com algum tipo de câncer sob todas as condições de exposição. Essa controvérsia também reflete o fato de que não há uma simples causa para o câncer e que a não-ambígua identificação de um carcinogênico é freqüentemente impossível. A questão científica não é se “o telefone celular causa câncer?”, já que esta pergunta nunca poderá ser negativamente respondida! Seria preferível a seguinte pergunta: “Quão forte é a evidência entre a radiação de RF do telefone celular e o câncer?”, e também: “Quão atentamente temos buscado evidência de que a radiação de RF causa câncer?”

A resposta a tais perguntas requer o exame de um conjunto de evidências em disciplinas que vão desde a biofísica à epidemiologia e nenhuma das evidências provavelmente seja definitiva. Além disso, por não haver regras precisas para decidir quanta pesquisa seja “suficiente”, a resposta sempre será passível de julgamento. Na verdade, tem-se argumentado que a avaliação do risco não é uma questão científica, mas uma forma de análise política que requer um alto grau de contribuição científica. Em um tal campo de batalha, disputas sobre riscos sutis podem ser estabelecidos por acomodação política, mais do que por consenso científico. Se esse for o caso para o risco de câncer associado aos telefones celulares, a comunicação do risco e seu gerenciamento tornar-se-ão questões muito complexas.

A controvérsia sobre os telefones celulares e o câncer provavelmente continuará até que evidências precisas dos riscos sejam estabelecidas, ou até que o público (incluindo os políticos, empresários, advogados e jornalistas) conclua haver pequena probabilidade de um perigo real e significativo. Talvez a grande contribuição que os cientistas possam fazer, para este debate, seja educar o público (e outros cientistas), sobre a incerteza da avaliação do risco e o rigor da análise para que se atinja uma avaliação de risco de alta qualidade.

1.4.3 Controvérsia na Pesquisa Sobre Efeitos Biológicos

Pelo exposto, algumas considerações merecem destaque, notadamente em relação a precipitadas conclusões. Não se pode afirmar categoricamente o risco a partir do efeito biológico, nem a total inofensividade da radiação eletromagnética não-ionizante, uma vez que a pesquisa científica, nesse caso, demanda um grande conjunto de variáveis interferentes, além das de interesse imediato. Por outro lado, a maioria dos efeitos prováveis, além de estocásticos, são de manifestação a longo prazo, o que demanda um acompanhamento do problema por muitos anos, senão décadas.

O conflito nos resultados das pesquisas é a questão mais polêmica do problema. Carece-se de protocolos universais para a garantia das conclusões,

uma tentativa é a adoção do “Critério de Hill” [23], que considera os seguintes aspectos para a confirmação de resultados:

- Força da Associação: definir com clareza a relação entre causa e efeito;
- Consistência: Garantir que as amostras de experimentação e controle sejam consistentes no fornecimento de dados e que o experimento destaque o objetivo da pesquisa;
- Relação dose-incidência: muitos experimentos trabalham com doses excessivamente elevadas em relação às encontradas nos ambientes reais, as extensões de tais estudos tornam-se duvidosas, uma vez que alterações qualitativas em processos vitais dependem muito dos níveis quantitativos;
- Evidências de Laboratório: determinar tendências dos resultados não são suficientes para identificar causa-efeito, uma vez que são necessárias evidências claras nas pesquisas para que uma extensão dos resultados seja plausível;
- Mecanismos Biológicos Plausíveis: é fundamental que os mecanismos biológicos em estudo sejam coerentemente relacionados aos efeitos biológicos, efeito secundário não pode ser superestimado em estudos com muitas variáveis;
- Coerência: aspecto fundamental é a determinação de protocolos reprodutíveis em outras circunstâncias, permitindo a confirmação de resultados, não necessariamente os mesmos valores, mas ao menos os mesmos efeitos. Quando os métodos de pesquisa diferem muito, sobre um mesmo experimento, seus resultados não podem ser comparáveis.

1.5 NORMAS E SEUS LIMITES DE EXPOSIÇÃO

1.5.1 Normas de Segurança – Níveis de Exposição

Afinal, quais os níveis seguros de exposição à radiação de RF? Essa pergunta é uma das principais razões da pesquisa de instituições de normatização em diversos países. Levam em consideração os níveis de exposição supostos perigosos ao ser humano, fatores de segurança são então

incorporados para delimitar específicos níveis de exposição que garantam proteção suficiente aos vários segmentos da população.

Cada país adota normas e regulamentações sobre níveis permitidos de exposição, de acordo com sua pesquisa, níveis testados, ou mesmo baseados na ausência de efeitos biológicos. Assim, há uma grande variedade de valores para cada intervalo de frequência. Devido a tão grandes discrepâncias nas normas, a Organização Mundial da Saúde (OMS), dentro do projeto EMF (“EMF Project”), iniciou um programa para tentar desenvolver uma referência internacional para normas de segurança em RF.

O programa iniciou em 1996 e terminará em 2005, consta de uma série de pesquisas e eventos internacionais de divulgação científica e deverá culminar em um conjunto de relatórios públicos com informações consistentes para colaborar na melhor orientação de normas e procedimentos de segurança para o uso e fabricação de equipamentos geradores de campos eletromagnéticos.

Há que se destacar os principais limites adotados pela FCC (Comissão Federal de Comunicação), dos EUA, sobre níveis de exposição à energia de RF por faixa de frequência. Os limites mais restritivos estão na faixa de 30 a 300 MHz, pelo qual o corpo humano absorve energia com mais eficiência, quando exposto ao campo distante de uma fonte transmissora de RF.

A maioria dos limites de segurança são definidos em termos de campos elétrico e magnético, bem como densidade de potência. Para baixas frequências, é mais significativo falar em termos de campo elétrico e magnético, sendo a densidade de potência referida ao valor equivalente no campo distante, este é citado para comparação e porque alguns instrumentos de medição são calibrados em termos de equivalente do campo distante ou densidade de potência de onda plana. Para frequências elevadas, quando se está efetivamente no campo distante da fonte de radiação, basta apenas avaliar a densidade de potência. No campo distante de um transmissor de RF, a densidade de potência e o campo estão relacionados por equações padrão.

Ressalte-se ainda que esses limites adotados pela FCC, a partir de 1996, estão baseados no critério da taxa de absorção específica (SAR). SAR é uma medida da taxa na qual o corpo absorve energia de RF. Os critérios de exposição estão baseados na determinação de um possível efeito biológico perigoso ocorrer

a uma SAR de 4 W/kg em média sobre o corpo inteiro. Fatores apropriados foram incorporados para se chegar aos limites, tanto de corpo inteiro, quanto parcial: 0,4 W/kg para exposição “controlada” ou “ocupacional” e 0,08 W/kg para exposição “incontrolada” ou do “público em geral”. Acrescente-se que tais limites já são usados por muitos outros países.

1.5.2 Normas para Limitação à Exposição no Brasil

Até 1999 existiam no Brasil apenas regulamentações para exposição ocupacional. A Norma Reguladora *NR-15 - Anexo nº 7* trata das condições de salubridade no ambiente de trabalho, para trabalhadores expostos à radiação não-ionizante (RNI). Essa norma é de caráter qualitativo, não estabelecendo valores para os níveis aceitáveis de exposição à RNI [5, 14]. Essa falha foi parcialmente corrigida pela *NR-9*, que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Segundo esta última, em caso de dúvidas sobre os riscos potenciais à saúde dos trabalhadores, deve-se avaliar quantitativamente os níveis de exposição (por meio de medições) e compará-los com os limites adotados pela ACGIH e, em caso de se excederem os mesmos, recomenda que sejam tomadas medidas corretivas para eliminar ou minimizar os riscos ambientais.

A ACGIH (“*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*”), Conferência Governamental Americana de Higienistas Industriais, é um órgão governamental norte-americano que, entre outras funções, elabora normas de proteção para a exposição à RNI em ambientes ocupacionais. A Norma vigente atualmente, a *ACGIH - 1993b*, é praticamente idêntica à ANSI/IEEE C95.1- 1992.

A NR-9 (assim como a ACGIH), entretanto, não se aplica à exposição ao público em geral. A falta de uma norma brasileira para a proteção da população levou vários municípios a elaborarem as suas próprias normas que nem sempre obedeciam a critérios estritamente técnicos. A proteção da população exposta às radiações de RF é certamente de interesse nacional e não apenas local, cabendo ao governo federal estabelecer as normas adequadas.

De acordo com a Lei Geral de Telecomunicações - Lei nº 9.472 de 16 de junho de 1997, Art.1º, inciso XII, compete à Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL [15]: “... expedir normas e padrões a serem

cumpridos pelas prestadoras de serviços de telecomunicações quanto ao equipamento que utilizam”.

Por outro lado, a Procuradoria da ANATEL manifestou-se em Parecer nº 1003/98, de 5/9/98, nos seguintes termos:

“... deve-se buscar a harmonia entre estas esferas de comando - a municipal e a federal - e entre dois aspectos que integram o que chamaríamos de interesse público da comunidade local - a possibilidade de usufruir um serviço de telecomunicações e a garantia de que os equipamentos dedicados à exploração destes serviços não funcionarão de forma nociva à saúde de todos - mas sem que a competência exclusiva da União para legislar sobre o assunto seja agredida”.

Em julho de 1999, o Conselho Diretor da ANATEL decidiu:

“... adotar como referência provisória para a avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos de radiofrequência, provenientes de estações transmissoras de serviços de telecomunicações, os limites propostos pela Comissão Internacional para Proteção às Radiações Não Ionizantes – ICNIRP”.

Em dezembro de 1999, a ANATEL publicou as *Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo*, tradução da “Guidelines” da ICNIRP [15].

Através da Resolução 303 de 02 de julho de 2002, a ANATEL aprovou o “Regulamento Sobre a Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9kHz e 300GHz”. Esse Regulamento é baseado nas diretrizes da ICNIRP, com as contribuições das consultas públicas nº 285 de 30 de março de 2001 e nº 296 de 8 de maio de 2001:

“considerando a necessidade de estabelecer limites e definir métodos de avaliação e procedimentos a serem observados quando do licenciamento de estações de radiocomunicação, no que diz respeito à exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos de radiofrequências associadas à operação de estações transmissoras de serviços de telecomunicações”.

Faz-se necessário destacar que a Regulamentação da ANATEL nada menciona sobre a faixa de frequências de 0 a 9 kHz, o que deixa em descoberto importante intervalo de frequências, especialmente dos sistemas de distribuição de energia elétrica, presente nos ambientes urbanos de forma tão relevante quanto as telecomunicações. A ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica não tem regulamentação sobre esse intervalo, que seria a priori sua atribuição.

2 FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA – TEORIA DE CAMPOS

A radiação eletromagnética pode ser assim definida: propagação do efeito conjunto do campo elétrico e magnético. Pode-se melhorar a compreensão com o seguinte argumento: considere-se um corpo qualquer, constituído por átomos, os quais, dentre outras partículas são compostos por elétrons e prótons, partículas com uma propriedade especial de mútua atração e auto-repulsão, chamada carga elétrica. Sempre que essas partículas são separadas, estabelece-se um desequilíbrio e o ambiente que as contém apresenta a propriedade de afetar quaisquer outras cargas ali contidas, buscando a neutralidade original, essa região é chamada campo elétrico. Por outro lado, uma carga em movimento tende a afetar o movimento de outra carga em sua proximidade, a região onde este efeito acontece é chamada campo magnético.

Assim, o campo elétrico pode ser dito como conseqüência da existência de carga elétrica e o campo magnético conseqüência de seu movimento. Dessa forma quando se tem uma carga em movimento, temos ambos os efeitos associados.

Um meio com cargas elétricas livres, submetidas a um campo elétrico, permite um fluxo destas, transferindo energia de um ponto a outro, pelo movimento das cargas. O efeito combinado de variação do movimento de cargas provoca o surgimento de novas cargas (e campo elétrico), que por ser fruto de variação também se deslocam quando um caminho o permite, criando um campo magnético também variável.

Assim pode-se dizer que um campo magnético variável produz um campo elétrico variável o qual por sua vez produz um campo magnético variável e assim sucessivamente. Esse fenômeno propaga-se independentemente da presença de cargas elétricas. O fenômeno da radiação eletromagnética só acontece quando se tem campos variáveis no tempo, isto é, quando as cargas elétricas têm seu movimento alternado, ora em um sentido, ora noutro.

Quando os campos não variam, não se tem radiação eletromagnética. Acrescente-se também que a propagação da radiação eletromagnética depende da rapidez (frequência) de variação dos campos.

As Equações de Maxwell [16] representam a síntese das relações entre campos elétricos e magnéticos, bem como suas manifestações. De forma simples seu significado pode ser assim apresentado:

$rot \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	A Indução Magnética é proporcional à Densidade de Corrente e à variação da Indução Elétrica.
$div \vec{B} = 0$	O Fluxo Magnético é conservativo.
$rot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	O Campo Elétrico é proporcional à variação da Indução Magnética.
$div \vec{D} = \rho$	A Indução Elétrica é proporcional à Densidade de Carga Elétrica.

É necessário destacar ainda as seguintes relações, particularmente importantes nas discussões a seguir:

$\vec{B} = \ \mathbf{m}\ \vec{H}$	A Indução Magnética depende do Campo Magnético e da Permeabilidade Magnética.
$\vec{D} = \ \mathbf{e}\ \vec{E}$	A Indução Elétrica depende do Campo Elétrico e da Permissividade Elétrica.
$\vec{J} = \ \mathbf{s}\ \vec{E}$	A Densidade de Corrente depende do Campo Elétrico e da Condutividade Elétrica.

O operador $\|\mathbf{m}\|$ (a rigor: $\|\mathbf{m}(H)\|$) representa não apenas o escalar permeabilidade magnética, mas o “tensor de permeabilidade”, o que significa que o fluxo magnético pode ter comportamento muito adverso dentro de um determinado volume se suas propriedades forem anisotrópicas, variando em diferentes direções, como também não linear, variando com a intensidade do campo aplicado. Raciocínio semelhante também se aplica ao Fluxo Elétrico e à Densidade de Corrente.

Sabe-se que diferentes organismos vivos têm diferentes compostos em suas camadas superficiais; dessa forma, o levantamento de efeito biológico em uma dada espécie não pode ser estendido às demais, apenas por pertencerem ao mesmo reino, é necessário considerar a composição específica dos tecidos sujeitos ao campo eletromagnético. Sugere-se que esta seja uma das fontes de conflito nos resultados da pesquisa in vivo, bem como na extensão de resultados de experimentos com ratos, ou outras cobaias e o ser humano.

2.2 EFEITO BIOLÓGICO – FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS

2.2.1 Radiação Ionizante e Não-Ionizante

A radiação eletromagnética é definida como a propagação de energia através do espaço na forma de ondas ou partículas. Alguns fenômenos eletromagnéticos podem ser melhor explicados, se a energia for considerada onda, enquanto outros são melhor explicados considerando a energia como um fluxo de partículas, os fótons. Essa é a chamada “*dualidade onda-partícula*” da energia eletromagnética. A energia associada ao fóton, a unidade elementar, depende de sua frequência (ou seu comprimento de onda). Quanto maior a frequência de uma onda eletromagnética (mais curto seu correspondente comprimento de onda), maior será a energia do fóton a ela associada. A energia, no sistema internacional de unidades, é expressa em Joules (J), mas por questões práticas, a energia contida em um fóton é geralmente expressa em “elétron-volt” ou “eV” ($1\text{eV}=1,6\times 10^{-19}\text{J}$). Fótons associados aos raios-X e raios gama (com frequências muito altas) têm um elevado nível de energia associado. No outro lado do espectro eletromagnético, os fótons associados a ondas de frequências extremamente baixas, têm muito menos energia. Para uma comparação simples, a energia de um fóton associado aos raios-X é bilhões de vezes maior que a de um fóton associado a uma onda de microondas de telefonia celular.

Ionização é o fenômeno pelo qual elétrons são arrancados de átomos e moléculas. Tal processo pode produzir mudanças moleculares que trazem danos ao tecido biológico, incluindo efeitos sobre o DNA, o material genético. Um evento quântico simples (absorção de um fóton de raios-X ou gama) pode produzir ionização e subsequente dano biológico devido ao conteúdo de alta energia do fóton, que poderia ser acima de 10 eV (considerada a energia mínima de um fóton capaz de causar ionização). Por isso, os raios-X e gama são exemplos de radiação **ionizante**. A radiação ionizante também está associada à geração de energia nuclear, em que é chamada simplesmente “radiação”.

A energia do fóton das ondas eletromagnéticas de RF não é grande o suficiente para causar ionização de átomos e moléculas, assim a energia de RF caracteriza-se como radiação **não-ionizante**, conjuntamente com a luz visível, infravermelho e outras formas de radiação eletromagnética com relativamente baixas frequências. É importante ressaltar que os termos “ionizante” e “não-ionizante” não devem ser confundidos quando se discutem os efeitos biológicos da radiação eletromagnética, ou energia eletromagnética, uma vez que os mecanismos de interação sobre o corpo humano ou quaisquer seres vivos são completamente diferentes.

2.2.2 Definição das Grandezas Elétricas e Magnéticas

O campo eletromagnético possui tanto a componente elétrica quanto magnética (campo elétrico e campo magnético), é conveniente expressar a intensidade da radiação em termos de unidades específicas para cada componente. A unidade de campo elétrico é o “volt por metro” ou V/m, usada para expressar o campo elétrico e a unidade “Ampère por metro” ou A/m indica o campo magnético.

Outra unidade comumente utilizada para caracterizar o campo eletromagnético é a “densidade de potência”. Esta unidade é mais apropriadamente utilizada quando o ponto de medição está suficientemente distante da fonte, sendo localizado no que se chama comumente “campo-distante”; por exemplo, vários comprimentos de onda distante da fonte de

radiofrequência. No campo-distante, o campo elétrico e o magnético estão relacionados de maneira conhecida, o vetor de Poynting, sendo apenas necessário medir uma dessas quantidades a fim de determinar a outra ou mesmo a densidade de potência. Próximo a um emissor de radiação eletromagnética, ou uma antena, isto é, no “campo-próximo”, a relação física entre a componente elétrica e magnética do campo é geralmente complexa; nesse caso é necessário determinar ambas as intensidades de campo para caracterizar completamente o ambiente de radiofrequências. Para frequências acima de cerca de 300 MHz, é comumente necessário medir apenas o campo elétrico para caracterizar o ambiente, se a medição não for feita muito próxima à fonte emissora.

A densidade de potência é definida como a potência por unidade de área, podendo ser expressa em W/m^2 , ou ainda em mW/cm^2 (miliwatt por centímetro quadrado), ou ainda ser expressa em $\mu\text{W/cm}^2$, onde $1\mu\text{W/cm}^2$ corresponde a $0,000001 \text{ W/cm}^2$ de densidade de potência. Com respeito às frequências de microondas ou maiores, a densidade de potência é usualmente adotada para expressar a intensidade, uma vez que as exposições sempre ocorrem no campo-distante. Exceção seja feita ao telefone celular que, por estar próximo à cabeça, tem particular análise sobre a densidade de potência. Sua radiação é analisada sob critérios específicos de campo próximo.

Para bloquear a propagação da radiação eletromagnética, ou tornar seu efeito irrelevante, três formas se aplicam: redução de potência da fonte, uma vez que a densidade de potência muito pequena não produz efeito significativo; a distância, a densidade de potência decai quadraticamente com a distância e, finalmente, a blindagem - materiais metálicos, notadamente os ferromagnéticos são importantes bloqueadores da radiação eletromagnética.

Entende-se por espectro eletromagnético a distribuição de frequências em grupos e suas aplicações ou manifestações. É um diagrama que distingue para cada intervalo de frequência (ou comprimento de onda) uma atribuição no conjunto de fenômenos associados à dissipação de matéria radiante, isto é, a energia.

Apresenta-se na figura 01, o espectro eletromagnético com suas categorias de fenômenos associados.

Observe-se que no diagrama estão localizadas as principais regiões de frequência e comprimento de onda, associados aos principais fenômenos eletromagnéticos, com os quais se convive.

Importante ressaltar as divisões, cujos significados são apresentados:

- Região de radiação não-ionizante: faixa de zero até luz ultravioleta, onde a energia da radiação não é suficiente para produzir íons, ou partículas carregadas, mas apenas produzir os seguintes efeitos:
 - Baixa indução de corrente, sem efeitos significativos para valores ambientais.
 - Alta indução de corrente, produzindo calor.
 - Excitação eletrônica, produzindo efeito fotoquímico, afetando algumas estruturas vivas e substâncias complexas.
- Região de radiação ionizante: Desde ultravioleta até os raios gama, quebra de ligações químicas, produzindo inclusive danos ao DNA.

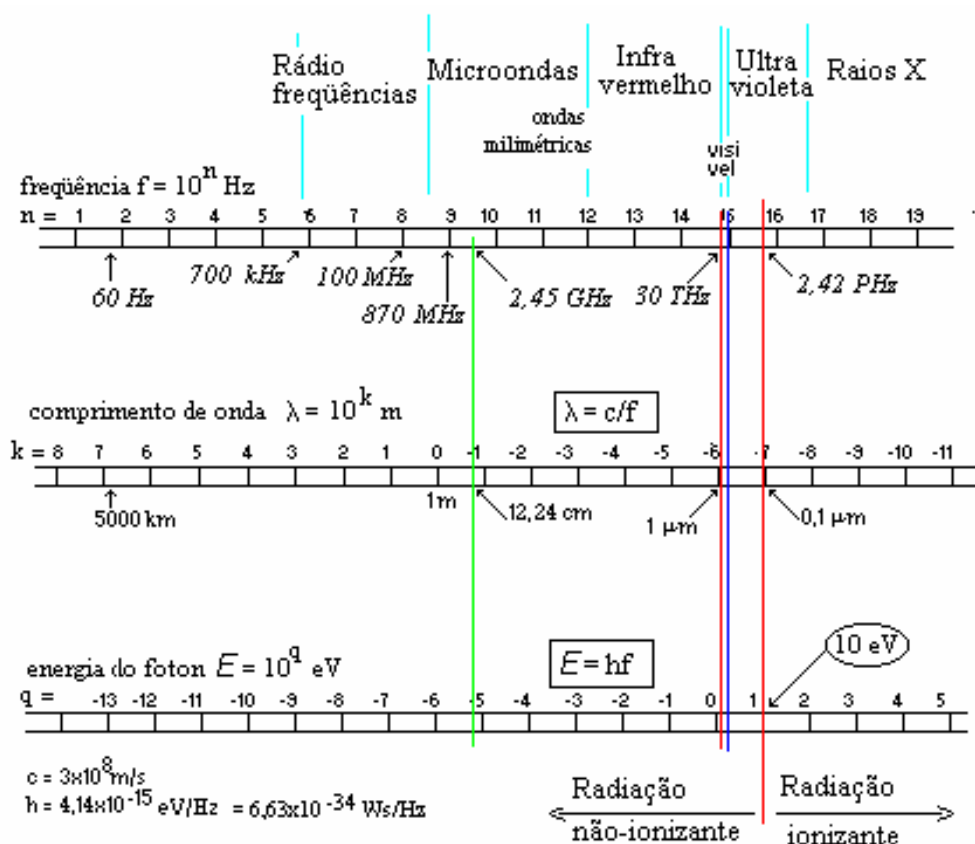


Figura 01 – Espectro eletromagnético

Uma comparação pictórica do espectro eletromagnético, localizando as principais regiões de aplicação tecnológica é mostrada abaixo, destaque-se a distância, nos níveis de frequência, entre a radiação não-ionizante e ionizante.

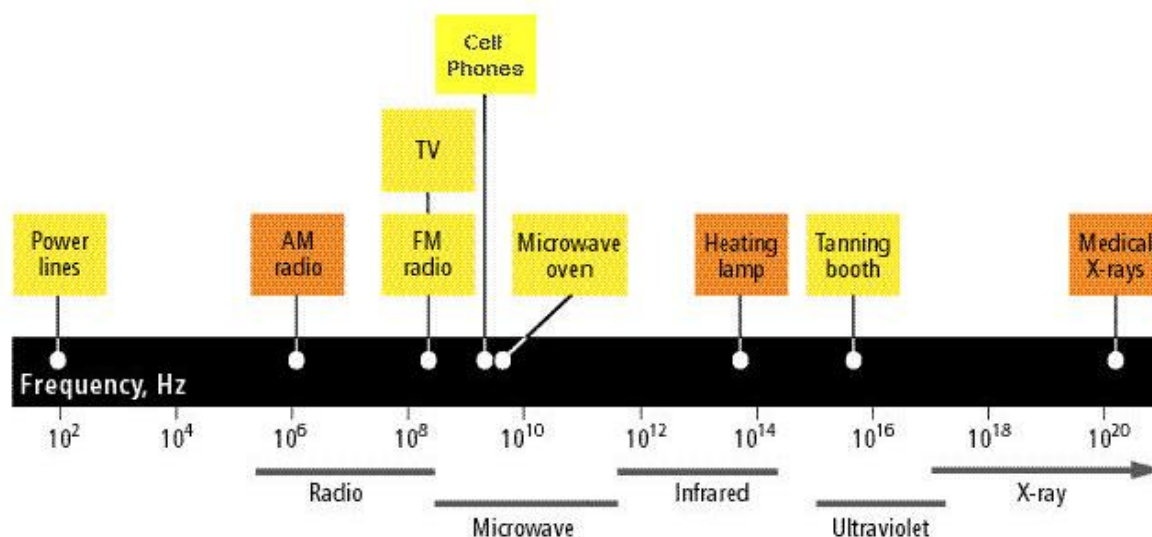


Figura 02 – Espectro eletromagnético e seus usos [11]

2.3 ELABORAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DAS NORMAS

Organismos internacionais (governamentais e não-governamentais) têm proposto recomendações de níveis para a exposição segura dos seres humanos à energia de radiofrequência, baseados em sua maioria, nos conhecimentos cientificamente comprovados sobre o tema, existentes até a data de elaboração das propostas. Assim, é corrente, em substancial parte de comunidade científica internacional, que a exposição à energia de RF abaixo dos limites recomendados pelas atuais normas é segura.

Para a população em geral e para aqueles trabalham em temas afins (cientistas, engenheiros, empresários, médicos, etc.) ainda são motivo de dúvidas algumas questões relacionadas com a elaboração dessas recomendações, por exemplo: Como são formados os comitês para a elaboração das normas? Quais os princípios empregados para reconhecer que uma pesquisa é confiável ou não? Sob que critérios são estabelecidos os fatores de segurança? Existem situações particulares (por exemplo, o uso de marca-passos cardíacos) não contempladas

pelas normas? Quais as principais diferenças e semelhanças entre as atuais normas? São diferenças significativas? Como estão sendo tratados esses temas no Brasil?

Nesse contexto, pretende-se contribuir para o esclarecimento dessas e outras questões relacionadas com as normas de segurança para a exposição humana às radiações de RF, com base na recompilação de dados obtidos a partir de uma minuciosa revisão bibliográfica consensualmente aceita nesta área pela comunidade científica internacional [4, 13, 18 e 26].

Fundamentalmente, a discussão será focada na faixa de frequências que vai de 100 kHz até 300 GHz, onde operam todos os sistemas de comunicações existentes (rádio AM/FM, TV, rádio amador, telefonia sem fio e celular, radares, comunicações via satélite, transmissão de dados, entre outros).

2.3.1 Principais Recomendações e Normas Internacionais

Dentre as principais normas internacionais, as seguintes destacam-se por sua abrangência e aceitação mundial:

- **ICNIRP 1997** – “*Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*” - “Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos, Variáveis no Tempo (até 300 GHz)”. Documento da *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* - Comissão Internacional para Proteção à Radiação Não-Ionizante, entidade independente, que tem o aval da Organização Mundial da Saúde (OMS/WHO) e da Organização Internacional do Trabalho (OIT/ILO), dentre outras.
- **IEEE C-95.1- 1991** – “*Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300 GHz*” - “Norma para Níveis de Segurança com respeito à Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência de 3kHz até 300 GHz”. A

mais influente norma nos Estados Unidos, desenvolvida pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos). Foi adotada como norma padrão nesse país em 1992 pela ANSI (*American National Standards Institute* - Instituto Nacional de Normas dos Estados Unidos).

É importante mencionar que cada país adota suas próprias normas e regulamentações sobre níveis permitidos de exposição às Radiações Não Ionizantes, mesmo que a maioria seja baseada (ou até idênticas) às acima mencionadas. Alguns países até possuem mais de uma norma com reconhecimento oficial dos governos.

Assim, merecem destaque também as seguintes:

Nos Estados Unidos:

- **NCRP (Report 86)** – “*Biological Effects and Exposure Criteria for Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz*” - “Efeitos Biológicos e Critérios de Exposição para os Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência de 300 kHz até 100 GHz”. Norma do *National Council on Radiation Protection and Measurements* - Conselho Nacional de Proteção Radiológica e Medidas. Organização sem fins lucrativos recomendada pelo congresso norte-americano para o estudo e a elaboração de recomendações para educação da população sobre as radiações eletromagnéticas em geral (ionizante e não ionizante).
- **FCC 96-326 (1996)** – “*Specified Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*” - “Diretrizes específicas para a Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência”. Norma da *Federal Communications Commission* - Comissão Federal das Comunicações nos EUA. Órgão governamental encarregado da regulamentação das Telecomunicações e da Certificação dos equipamentos emissores de radiação eletromagnética no país. A citada

norma (em vigor) é baseada no padrão IEEE C95.1- 1992 da ANSI e nas recomendações da NCRP.

Na Europa:

- **CENELEC ENV 50166-1 e -2 (1995)** – “*Human Exposure to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz)*” - “Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos (0 Hz to 300 GHz)”. Norma do *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique* - Comitê Europeu de Normatização Eletrotécnica, da Comunidade Européia. Esta norma é aceita como padrão em vários países da Europa. Na faixa das RF é praticamente idêntica à ICNIRP.

Na Inglaterra, em particular:

- **NRPB - 1993** – “*Board Statement on Restrictions on Human Exposure to Static and Time – Varying Electromagnetic Fields and Radiation*” - “Diretrizes para a Restrição da Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos Estáticos e Variáveis no Tempo e às Radiações”. Norma do *National Radiological Protection Board* - Conselho Nacional de Proteção Radiológica do Reino Unido.

Na faixa das RF, todas as normas citadas apresentam, em geral, limites de exposição muito semelhantes. Há pequenas diferenças de valores e em outras particularidades, que serão tratadas neste estudo para o caso específico da ICNIRP - 1997, da IEEE C-95.1- 1992 (doravante referida como ANSI/IEEE) e da FCC - 1996.

Os comitês ou organizações criados para a elaboração das normas mantêm-se ativos e continuamente fazem revisões das mesmas, atendendo às novas pesquisas disponíveis e aos avanços da ciência e da tecnologia nesta área de conhecimento. Na data de elaboração do presente trabalho, as versões das normas acima citadas são as vigentes.

Existem ainda em alguns países normas que diferem significativamente das mencionadas, muito mais restritivas, nas quais os enfoques e critérios empregados para o estabelecimento dos limites de exposição são muito diferentes. Encontram-se nesse grupo, por exemplo, a Rússia, a China e alguns países do leste Europeu.

2.3.2 Aspectos Relevantes na Elaboração das Normas

Todas as principais normas de segurança sobre exposição às radiações de radiofrequência seguem, basicamente, o mesmo roteiro em seu desenvolvimento:

- Identificação dos efeitos cientificamente comprovados da radiofrequência;
- Seleção dos efeitos que apresentam risco à saúde;
- Determinação dos limiares fisiológicos de risco para os mesmos efeitos;
- Introdução de restrições básicas, através de fatores de segurança, de forma a garantir que as pessoas só possam estar expostas a níveis de RF muito inferiores aos de risco;
- Desenvolvimento de técnicas de medida de grandezas físicas que caracterizam a exposição às RF e estabelecimento de níveis de referência para essas mesmas grandezas, a fim de verificar a conformidade com as restrições básicas.

2.3.3 Identificação dos Efeitos Biológicos Comprovados

A elaboração das normas é missão de equipes multidisciplinares, compostas por cientistas, engenheiros e outros profissionais provenientes de universidades, setor produtivo e de entidades governamentais.

Estas comissões têm a difícil tarefa de examinar criticamente toda a literatura científica publicada sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos até a data de elaboração das normas. Para se ter uma idéia da

magnitude das fontes de pesquisa, até Junho de 2001, estimava-se a existência de mais de vinte mil artigos sobre o tema.

Para sua avaliação, os trabalhos são classificados por categorias:

- Estudos Epidemiológicos;
- Estudos experimentais em animais (in vivo);
- Estudos experimentais in vitro em tecidos de animais e humanos;
- Estudos experimentais com Humanos (voluntários).
- Estudos Dosimétricos.

É fácil entender que resultados de pesquisas, para constituírem base de critério para o estabelecimento de normas de proteção, devem passar por um crivo extremamente rigoroso, que inclui, entre outros, um exame crítico da metodologia empregada, da consistência dos resultados, da reprodutibilidade (esse é um dos pontos chaves: o mesmo resultado deve ser obtido por grupos independentes de pesquisadores) e finalmente uma estimativa de risco.

O longo processo de revisão conclui-se apenas após as comissões terem consenso em relação à identificação dos efeitos biológicos cientificamente comprovados das radiofrequências. Por exemplo, no caso da ANSI/IEEE, o processo de revisão atual (Junho de 2001) considera que apenas 1400 trabalhos (cerca de 7 % do total da literatura disponível) são relevantes para a elaboração das normas.

2.3.4 Identificação dos Riscos Biológicos Comprovados

No atual estágio do conhecimento, existe quase consenso na comunidade científica internacional nos seguintes pontos chaves, relativos aos efeitos biológicos da radiofrequência (incluem-se: ANSI/IEEE, ICNIRP, NCRP, FCC, NRPB, CENELEC):

- Na interação dos campos (acima de 100 kHz) com os meios biológicos, o único fenômeno associado com efeitos reproduzíveis que levem a riscos para a saúde é o da absorção de energia eletromagnética pelo corpo, com a conseqüente elevação de temperatura dos tecidos (efeito térmico);

- Os efeitos biológicos dos campos (e os riscos) são proporcionais à energia eletromagnética absorvida;
- O nível de absorção de energia é decorrente de vários fatores: da frequência, intensidade e polarização da onda eletromagnética que atinge o corpo; das propriedades elétricas, do tamanho e geometria do corpo exposto; da separação fonte – corpo (exposição a “campos próximos” ou “campos distantes”); efeitos de aterramento e reflexivos de outros objetos próximos ao corpo exposto;
- Para um mesmo nível de energia absorvida pelo corpo, os efeitos biológicos são independentes dos fatores de exposição supracitados;
- A exposição às ondas pode ser perigosa se determinados níveis de absorção de energia são excedidos, mesmo para períodos de tempo relativamente curtos (de acordo com o limiar fisiológico de risco).
- Para baixos níveis de absorção de energia, mesmo em longos períodos de tempo (“low level”, “long-term”), não se têm relatado efeitos biológicos reproduzíveis que levem a riscos para a saúde humana. As atuais evidências de ocorrência de efeitos biológicos “não térmicos” são ambíguas e inconsistentes.

2.3.5 Limiar Fisiológico de Risco da Radiação

Para a quantificação da energia absorvida por um meio biológico, a medida dosimétrica que tem sido amplamente adotada é a Taxa de Absorção Específica (Specific Absorption Rate – SAR), expressa por:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} \left(\frac{W}{kg} \right)$$

Onde σ (S/m) é a condutividade elétrica do tecido; ρ (kg/m³) é a densidade de massa do tecido e $|E|$ (V/m) é o módulo do campo elétrico interno ao ponto de análise.

Essa grandeza quantifica a porção da energia eletromagnética irradiada que é absorvida por unidade de massa em determinado volume do corpo exposto. Ao mesmo tempo, observa-se que a SAR é diretamente proporcional ao aumento local de temperatura nos tecidos, responsável pelos efeitos térmicos no organismo:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR}{c} \quad (^\circ\text{C/s})$$

Onde c (J/kg $^\circ\text{C}$) é a capacidade específica de calor do tecido.

A determinação da SAR pode ser feita para:

- Exposição do corpo inteiro, onde é considerada a SAR média para o corpo inteiro (“whole-body average SAR”) [1, 2, 4, 7 e 11], que será a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa. Esse tipo é particularmente interessante para “campos distantes” (o corpo exposto encontra-se a vários comprimentos de onda da fonte);
- Exposição localizada, onde é considerada a SAR local (“local, partial-body or spatial-peak SAR”), que é definida como o valor médio da SAR por grama de tecido (W/kg/g). Os valores de SAR local excedem usualmente entre 20 a 30 vezes os da SAR média para o corpo inteiro. Isso é particularmente interessante para “campos próximos” (a parte do corpo exposta encontra-se a poucos [ou menos de um] comprimentos de onda distante da fonte). Um exemplo típico da necessidade do cálculo da SAR local é na determinação da quantidade de energia absorvida na cabeça humana pela irradiação proveniente da antena de um telefone celular, pois usualmente este fica muito próximo à cabeça do usuário.

Tanto a SAR média para o corpo inteiro quanto a SAR local são grandezas convenientes para a comparação de efeitos biológicos observados sob várias condições de exposição. De fato, a SAR é utilizada como medida básica pelas principais normas internacionais para estabelecer o *limiar fisiológico de risco* às radiações eletromagnéticas (fundamentalmente na faixa de 100 kHz até 6-10 GHz).

Estudos experimentais com animais (relatados na literatura disponível), contribuíram para a identificação desse limiar de risco, isto é, o valor de SAR mínimo para o qual se tem detectado (vários estudos independentes levaram à mesma conclusão) efeitos adversos à saúde.

Quando a energia eletromagnética absorvida pelo corpo está próxima a 4 W/kg durante aproximadamente 30 minutos de exposição em condições ambientais normais, acontece um aumento da temperatura média do corpo, na ordem de 1 a 2 °C, que pode causar estresse, problemas de comportamento e outros efeitos parecidos com os provocados ou causados por febre. [12]

O efeito mais detectado durante as experiências com cobaias (ratos e primatas) tem sido a perda do interesse dos mesmos quando são treinados para a aprendizagem de determinadas tarefas. Essa mudança de comportamento acontece para diferentes condições de exposição do corpo inteiro do animal (diferentes valores de frequência, tempos e intensidades da irradiação), mas sempre na faixa de absorção de energia de 2 a 9 W/kg, com a conseqüente elevação da temperatura corporal de 1 a 2 °C. Tais efeitos são reversíveis e não implicam danos à saúde dos animais. Na tabela 02, estão resumidos os resultados dos estudos de Lorge [7], considerados entre os mais conceituados pela comunidade científica.

Espécies e condições de exposição	225 MHz Onda contínua	1.3 GHz Onda pulsante	2.45 GHz Onda contínua	5.8 GHz Onda pulsante
Rato da Noruega	-	2.5	5.0	4.9
Macaco "Squirrel"	-	-	4.5	7.2
Macaco "Rhesus"	3.2	4.5	4.7	8.4

Tabela 02 – Limiares de SAR (W/kg) para perda de interesse em animais de laboratório na aprendizagem [7].

A evidência disponível indica que a exposição a campos mais intensos, produzindo valores de SAR superiores a 4 W/kg, pode exceder a capacidade termoreguladora do corpo e produzir níveis de aquecimento nocivos aos tecidos.

Muitos estudos de laboratório com roedores e primatas demonstraram uma grande variedade de danos em tecidos provocados por elevações de temperatura superiores a 1 ou 2 °C devido ao aquecimento de partes - ou da totalidade - do corpo: cataratas, queimaduras superficiais e profundas, cansaço por calor, esterilidade temporária, entre outros. A sensibilidade de vários tipos de tecidos a danos térmicos varia amplamente, mas o limiar para efeitos irreversíveis, mesmo nos tecidos mais sensíveis, é maior do que 4 W/kg, em condições ambientais normais.

Em relação aos humanos, é assumido (mesmo que ainda não comprovado), que a exposição do corpo inteiro às ondas eletromagnéticas que provoquem níveis de absorção de energia na faixa dos 4 W/kg pode causar efeitos semelhantes aos obtidos nas experiências com animais de laboratório.

Os estudos em humanos são muito limitados e imprecisos para serem considerados como base para o estabelecimento de limiares de riscos. Dados sobre a resposta humana a campos de alta frequência que produzem aquecimento perceptível, têm sido obtidos a partir da exposição controlada de voluntários e dos estudos epidemiológicos com trabalhadores expostos a fontes de radiofrequência, como radares e equipamentos de diatermia médica. Os resultados estão plenamente de acordo com as conclusões extraídas dos trabalhos de laboratório, ou seja, efeitos biológicos adversos podem ser causados por aumentos de temperatura superiores a 1 °C em tecidos.

Assim, o limiar fisiológico de risco (4 W/kg para o corpo inteiro) estabelece uma linha divisória entre os valores de SAR para os quais não se têm detectado efeitos adversos reproduzíveis e aqueles para os quais algum tipo de efeito mensurável existe.

2.3.6 Restrições Básicas – Fatores de Segurança

Baseados na pesquisa científica em relação ao limiar fisiológico de risco, os diferentes organismos estabeleceram as restrições básicas das normas, através de fatores de segurança, com a finalidade de garantir que pessoas possam estar expostas à radiação de RF sem risco.

Com esse objetivo, foram consideradas duas categorias de exposição:

- Exposição controlada ou ocupacional;
- Exposição não controlada ou do público em geral.

O primeiro caso aplica-se a adultos que estão geralmente expostos a condições conhecidas e são treinados para estarem atentos ao risco potencial e tomar as precauções apropriadas. É o que ocorre, por exemplo, com técnicos de operação e manutenção de antenas transmissoras e radares, que podem permanecer até 8 horas diárias expostos às radiações.

O segundo caso aplica-se às pessoas de todas as idades e estados de saúde e pode incluir grupos ou indivíduos particularmente suscetíveis. Em muitos casos, essas pessoas não têm consciência de sua exposição às radiações. Além do que, não se pode esperar que indivíduos do público em geral tomem precauções para minimizar ou evitar a exposição. É sobre essas considerações que se baseia a adoção de restrições mais rigorosas para a exposição do público em geral, do que para a população exposta ocupacionalmente.

Os fatores de segurança levam em conta, além das duas categorias de exposição, a variação da sensibilidade das pessoas às radiações de RF. Assim, as seguintes variáveis gerais são consideradas no desenvolvimento dos fatores de segurança:

- Efeitos da exposição aos campos de RF sob condições ambientais termicamente fatigantes (temperatura alta, umidade, etc.) e/ou elevados níveis de atividade física das pessoas;
- A sensibilidade térmica potencialmente mais elevada, em certos grupos populacionais, como os idosos, bebês e crianças pequenas, pessoas doentes ou tomando medicamentos que comprometem a tolerância térmica.

Baseado nessas considerações e partindo do limiar fisiológico estabelecido de 4 W/kg, cada instituto estabeleceu seus próprios fatores de segurança para a exposição do corpo inteiro e localizada.

Por exemplo, no caso da ICNIRP, da FCC e da ANSI/IEEE, uma SAR média, de corpo inteiro, de 0,4 W/kg, foi escolhida como sendo a restrição que garante proteção adequada no caso de exposição ocupacional na faixa de frequências de 100 kHz a 6 GHz (ICNIRP) e 100 kHz a 10 GHz (FCC, ANSI/IEEE) [4, 7, 11]. Isto é, foi aplicado um fator de 10 sob o limiar de risco. Um fator de segurança adicional, igual a 5, foi introduzido para a exposição do público em geral; resultando, assim, um limite de 0,08 W/kg para a SAR média de corpo inteiro. Essa mesma relação de 5:1 é encontrada em toda comparação entre as restrições básicas ocupacionais e para o público em geral. As restrições básicas inferiores para a exposição do público em geral levam em conta o fato de que a idade e o estado de saúde podem diferir do caso de trabalhadores.

Para a exposição localizada, lembrando que os valores de SAR local podem exceder usualmente entre 20-30 vezes os da SAR média para o corpo inteiro, os seguintes fatores de segurança foram estabelecidos:

ICNIRP - Exposição ocupacional:

- Valor de SAR localizada na cabeça e tronco – 10 W/kg (25 vezes maior que o nível obtido para a SAR médio do corpo inteiro: $25 \times 0.4 = 10$ W/kg).
- Valor de SAR localizada nos membros (mãos, pulsos, pernas e pés) – 20 W/kg (50 vezes maior que o nível obtido para a SAR médio do corpo inteiro: $50 \times 0.4 = 20$ W/kg).

Para exposição do público em geral, como foi dito, aplica-se um fator adicional de 5 às restrições ocupacionais. Assim, adota-se uma SAR localizada de 2 W/kg para as regiões da cabeça e tronco e de 4 W/kg para as regiões dos membros.

Para o cálculo desses valores de SAR localizada, deve ser utilizado um volume equivalente de 10 g de tecido contínuo na forma de cubo. A SAR máxima assim obtida deve ser usada para a estimativa da exposição.

FCC e ANSI/IEEE - Exposição ocupacional:

- Valor de SAR localizada na cabeça e tronco – 8 W/kg (20 vezes maior que o nível obtido para a SAR média do corpo inteiro: $20 \times 0.4 = 8$ W/kg).
- Valor de SAR localizada nos membros (mãos, pulsos, pernas e pés) – 20 W/kg (50 vezes maior que o nível obtido para a SAR média do corpo inteiro: $50 \times 0.4 = 20$ W/kg).

Para exposição do público em geral, tem-se uma SAR localizada de 1,6 W/kg para as regiões da cabeça e tronco e de 4 W/kg para as regiões dos membros.

Para o cálculo desses valores de SAR localizada, deve ser utilizado um volume equivalente de 1g de tecido contínuo no caso das regiões da cabeça e tronco. Para os membros, deve ser utilizado um volume de 10 g de tecido contínuo.

Nas tabelas 03 e 04 são resumidos os valores de SAR que conformam as restrições básicas das normas citadas.

Categoria da exposição	SAR média de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/10g)	SAR localizada (membros) (W/kg/10g)
Ocupacional	0.4	10	20
Público em geral	0.08	2	4

Tabela 03 – Limitações da ICNIRP de 100 KHz a 10 GHz

Categoria da exposição	SAR média de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/1g)	SAR localizada (membros) (W/kg/10g)
Ocupacional	0.4	8	20
Público em geral	0.08	1.6	4

Tabela 04 – Limitações ANSI/IEEE e FCC de 100 kHz a 6 GHz

Conforme se observa, os fatores de segurança estabelecidos foram derivados de análises qualitativas, baseadas em critérios técnicos e com boa dose de bom senso e prudência. A escolha de um determinado valor numérico para os fatores de segurança é totalmente subjetiva e não dependente de nenhum modelo matemático que permita relacionar os limiares de risco (uma resposta biológica específica) com os níveis de exposição segura.

Repacholi (1998), “chairman” até 1996 da comissão da ICNIRP elaboradora da Norma, e atual membro desta comissão, ilustra com clareza este problema:

“As informações sobre os efeitos biológicos e sobre a saúde, causados pela exposição a campos eletromagnéticos em populações humanas e animais, não são suficientes para fundamentar com rigor os fatores de segurança sobre todas as faixas de frequências e para toda forma de modulação. Além do que, parte das dúvidas a respeito de fatores de segurança resulta da falta de conhecimento da dosimetria adequada”.

A escolha dos fatores de segurança para os casos de exposição localizada é ainda mais confusa e conflitante, o que tem motivado debates, e até críticas, da comunidade científica internacional. Os pontos mais polêmicos do debate são:

- os limites para exposição localizada não foram derivados diretamente de limiares fisiológicos de riscos, e sim das restrições básicas para o corpo inteiro (que por sua vez, são baseadas em limiares estabelecidos para animais, extrapolados sem comprovação ainda para os seres humanos);
- a escolha do volume equivalente de 1 e/ou 10 g de tecido contínuo na forma de cubo para a determinação da SAR localizada é baseada apenas em critérios técnicos, valores esses que *“... correspondem aos menores volumes de tecido para os quais a SAR pode ser determinada com os métodos e equipamentos de medição disponíveis atualmente”*, segundo argumentou o próprio A. W. Guy, professor emérito da Universidade de Washington, “chairman” do comitê da ANSI em 1982 (ano em que pela primeira vez foi estabelecido o critério do volume equivalente de 1 g para a SAR localizada). Nota-se então que à medida que a ciência e a tecnologia avançam, é muito provável que os métodos e procedimentos

de cálculo e medição da SAR sofram mudanças, assim como os próprios limites das atuais normas.

2.3.7 Restrições na Faixa de 6 a 300 GHz

Os critérios para avaliar a exposição a frequências maiores que 6 GHz (no caso da ICNIRP essas considerações são feitas a partir de 10 GHz) são baseados na interação *quase-óptica* da onda com o meio biológico (o comprimento da onda é muito menor que o tamanho do corpo exposto). Isso significa que os efeitos esperados durante a exposição a altos níveis de radiação (na faixa de 6 – 300 GHz) serão similares aos experimentados no caso de exposição a altos níveis de radiação óptica (raios infravermelhos, por exemplo): percepção térmica superficial e queimaduras.

Na faixa de frequência de 6 a 300 GHz, a profundidade de penetração do campo dentro de tecidos é pequena e a SAR não é uma boa medida para avaliar a energia absorvida. Nesse caso, a *densidade de potência* do campo incidente, S (em W/m^2 ou mW/cm^2), é uma grandeza dosimétrica mais apropriada para o estabelecimento das restrições básicas que previnam o aquecimento excessivo em tecidos superficiais ou próximos à superfície do corpo.

Nas tabelas 05, 06 e 07, podem ser observados em detalhe os valores de Densidade de Potência escolhidos pelas normas ICNIRP, ANSI/IEEE e FCC para a faixa de frequência em pauta. Em geral, os valores de 5,0 – 10,0 (mW/cm^2) para exposição ocupacional e 1,0 (mW/cm^2) para exposição do público em geral são os mais empregados.

2.3.8 Níveis de Referência

Em geral, é difícil medir a SAR no interior do corpo de um animal e em um ser humano é impossível! Em consequência dessa dificuldade e com a finalidade prática de avaliar se a exposição tem a possibilidade de superar as restrições básicas, foram desenvolvidos métodos indiretos de avaliação que relacionam os

valores admitidos de SAR no interior do corpo humano, com medições realizadas fora do corpo (níveis de referência).

Os níveis de referência são obtidos de restrições básicas para o corpo inteiro usando medidas e/ou técnicas computacionais e de extrapolação dos resultados de pesquisas de laboratório em frequências específicas. Os níveis são dados para a condição de acoplamento máximo do campo com o indivíduo exposto, fornecendo, dessa forma, o máximo de proteção.

As grandezas físicas fundamentais derivadas são: campo elétrico (E, em V/m), campo magnético (H, em A/m) e densidade de potência (S, em W/m^2 ou mW/cm^2). Deve-se entender os níveis de referência como valores médios espaciais, calculados para o corpo inteiro do indivíduo exposto (ICNIRP) ou para uma determinada região do corpo exposto (ANSI/IEEE e FCC).

Em qualquer situação particular de exposição, valores calculados, ou medidos, de quaisquer dessas grandezas, podem ser comparados com o nível referencial apropriado. O atendimento ao nível de referência assegura o atendimento à restrição básica pertinente. Quando ocorre que o valor medido, ou calculado, excede o valor de referência, isso não significa necessariamente que a restrição básica é excedida. Sempre, porém, que o nível de referência for excedido, deve-se avaliar se as restrições básicas pertinentes são atendidas, e determinar se são necessárias medidas adicionais de proteção.

Nas Tabelas 05, 06 e 07 são mostrados os níveis de referência para exposição ocupacional e exposição do público em geral das normas ICNIRP, ANSI/IEEE e FCC para a faixa de frequências de 100 kHz a 300 GHz.

Categoria da exposição	Faixa de Frequências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência S (mW/cm ²)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.065 – 1	610	1.6/f	-	6
	1 – 10	610/f	1.6/f	-	6
	10 – 400	61	0.16	1,0	6
	400 – 2 000	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	f/400	6
	2000 – 300 000	137	0.36	5.0	6(f <10 GHz) 68/f ^{1.05} (f >10 GHz)
Público em geral	0.15 – 1	87	0.73/f	-	6
	1 – 10	87/f ^{1/2}	0.73/f	-	6
	10 – 400	28	0.073	0.2	6
	400 – 2 000	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	f/2000	6
	2000 – 300 000	61	0.16	1.0	6(f <10 GHz) 68/f ^{1.05} (f >10 GHz)

f – frequência em MHz.

Tabela 05 - Níveis de Referência da ICNIRP na faixa de 100 kHz a 300 GHz

Categoria da exposição	Faixa de Freqüências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência S (mW/cm ²)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.1 – 3	614	16.3/f	-	6
	3 – 30	1842/f	16.3/f	-	6
	30 – 100	61.4	16.3/f	-	6
	100 – 300	61.4	0.163	1.0	6
	300 – 3000	-	-	f/300	6
	3000 – 15 000	-	-	10	6
	15 000 – 300 000	-	-	10	616 000/f ^{1.2}
Público em geral	0.1 – 1.34	614	16.3/f		6
	1.34 – 3.0	823.8/f	16.3/f		f ² /0.3
	3 – 30	823.8/f	16.3/f		30
	30 - 100	27.5	158.3/f ^{1.668}	-	30
	100 – 300	27.5	0.0729	0,2	30
	300 – 3000	-	-	f/1500	30
	3000 – 15 000	-	-	f/1500	90 000/f
	15 000 – 300 000	-	-	10	616 000/f ^{1.2}

f – freqüência em MHz.

Tabela 06 - Níveis de Referência da ANSI/IEEE na faixa de 100 kHz a 300 GHz

Categoria da exposição	Faixa de Freqüências (MHz)	Campo Elétrico E (V/m)	Campo Magnético H (A/m)	Densidade de potência* S (mW/cm ²)	Tempo médio de exposição (minutos)
Ocupacional	0.3 – 3	614	1.63	100*	6
	3 – 30	1842/f	4.89/f	(900/f ²)*	6
	30 – 300	61.4	0,163	1.0	6
	300 – 1500	-	-	f/300	6
	1500 – 100 000	-	-	5.0	6
Público em geral	0.3 – 1.34	614	1.63	100	30
	1.34 – 30	824/f	2.19/f	180/f ²	30
	30 – 300	27.5	0.073	0.2	30
	300 – 1500	-	-	f/1500	30
	1500 – 100 000	-	-	1.0	30

f – freqüência em MHz.

** Densidade de potência de onda plana equivalente.*

Tabela 07 - Níveis de Referência da FCC na faixa de 300 kHz a 100 GHz

Da análise das tabelas, algumas observações podem ser feitas em relação aos Níveis de Referência das diferentes Normas:

As três Normas apresentam limites relativamente próximos entre si, para as diversas regiões de freqüência. De todas, constata-se que a ICNIRP é ligeiramente a mais restrigente, ou seja, apresenta os valores mais baixos.

As diferenças numéricas dos valores entre as Normas, para uma mesma grandeza e uma mesma faixa de freqüência devem-se aos diferentes enfoques técnicos adotados para derivar tais níveis (campo elétrico, magnético ou densidade de potência) da SAR, isso é, diferentes modelos biofísicos, matemáticos, métodos de medição, dosimétricos, dentre outros. Nenhuma das Diretrizes das Normas estudadas oferece detalhes sobre os métodos e critérios específicos que empregaram.

Para as frequências mais baixas (até aproximadamente 300 – 400 MHz), os limites são derivados fundamentalmente para o campo elétrico. Para as frequências mais altas (de 300 ou 400 MHz até 300 GHz), os limites são derivados fundamentalmente para a densidade de potência de onda plana equivalente no campo distante.

Para ambiente ocupacional e em todas as faixas de frequência, a ICNIRP e a FCC derivaram os níveis do campo magnético a partir do campo elétrico, usando a relação $E/H = 377\Omega$, válida para onda plana no campo distante. No caso da ANSI/IEEE, na faixa de 100 kHz a 100 MHz, os valores de campo magnético obtidos por essa expressão foram aumentados, entre 3 e 20 vezes, de maneira a obter um mesmo valor de campo para toda essa faixa. Isto foi feito pela ANSI/IEEE considerando que nas frequências abaixo de 100 MHz o campo magnético não contribui tão significativamente para o valor da SAR do corpo inteiro quanto o campo elétrico, razão pela qual pode ser admitido certo “relaxamento” nos níveis de campo magnético nessas frequências.

Para ambiente do público em geral, no caso da ICNIRP e da FCC, os níveis de referência para campos elétricos e magnéticos são mais baixos, por um fator de 2,2 vezes, do que aqueles fixados para a exposição ocupacional. O fator 2,2 corresponde à raiz quadrada de 5, que é o fator de segurança entre as restrições básicas para exposição ocupacional e aquelas para a exposição do público. Os níveis de referência para a densidade de potência são mais baixos, por um fator de 5, do que para a exposição ocupacional.

Para ambiente do público em geral, no caso da ANSI/IEEE, a derivação dos níveis de referência em determinadas faixas de frequência é um pouco mais complexa. Por exemplo, os limites para o campo magnético até 30 MHz são os mesmos que para a exposição ocupacional, mas entre 30 e 100 MHz os valores diminuem rapidamente com o aumento da frequência. No caso da densidade de potência, para frequências de 3 a 15 GHz, é aplicado um fator variável que vai de 5 até 1. Para frequências de 15 a 300 GHz, o limite derivado é de 10 mW/cm^2 tanto para exposição ocupacional quanto para o público em geral.

Para as frequências entre 20 e 300 MHz, os níveis de referência derivados alcançam os valores mínimos para as três Normas. Isso porque nessa faixa de frequência e sob condições de exposição de onda plana (i.e. exposição no campo

distante), a absorção de energia pelo corpo humano é mais eficiente, sendo que a SAR do corpo inteiro alcança valores máximos (região de ressonância).

2.3.9 Tempo Médio de Exposição

Ainda no que se refere às restrições básicas e níveis de referência, é preciso estabelecer limites de tempo de exposição segura às radiações de RF, denominados tempo médio de exposição (“averaging time”) [2, 4].

Isso significa que é permitido exceder os valores limites de exposição (SAR, densidade de potência, campo elétrico e magnético) ao longo de um determinado período de tempo contínuo, sempre que o valor médio da grandeza em questão durante esse intervalo de tempo não exceda os limites estabelecidos. Esse conceito pode ser também expresso da seguinte maneira: a somatória dos produtos entre os níveis e tempos de exposição de um caso em particular, não deve exceder o limite do tempo médio estabelecido pela norma.

À guisa de exemplo, observe-se este conceito:

Para a Norma ICINIRP, foi estabelecido o valor de 6 minutos como tempo médio de exposição, para toda a faixa de frequência onde a SAR é considerada como restrição básica (100 kHz – 10 GHz). Isso é válido tanto para exposição ocupacional quanto para o público em geral, como mostrado na tabela 08.

Assim, para uma frequência de 100 MHz, o limite de densidade de potência recomendado é de 1,0 mW/cm² para exposição ocupacional. Este valor pode ser excedido até 2,0 mW/cm² durante três minutos dentro do período contínuo de seis minutos se, nos outros três minutos a densidade de potência for zero:

$$2,0 \text{ (mW/cm}^2\text{)} \times 3 \text{ (min.)} + 0,0 \text{ (mW/cm}^2\text{)} \times 3 \text{ (min.)} = 1,0 \text{ (mW/cm}^2\text{)} \times 6 \text{ (min.)}$$

Logicamente, outras combinações de valores são possíveis, como pode ser verificado nos exemplos da tabela a seguir:

Duração aceitável (minutos)	Densidade de potência (mW/cm ²)
6	1.0
5	1.2
4	1.5
3	2.0
2	3.0
1	6.0

Tabela 8 - Níveis de densidade de potência aceitáveis na região de ressonância (10 – 400 MHz) para exposição ocupacional (ICNIRP) atendendo ao tempo de duração do sinal.

É importante ressaltar que a aplicação do tempo médio de exposição será somente necessária se os níveis de exposição recomendados (valores de densidade de potência, campo elétrico e magnético) são excedidos temporariamente. Em outras palavras, em ambientes onde os níveis de exposição recomendados não sejam excedidos, é totalmente seguro permanecer por tempo indefinido.

Há que se analisar, para cada norma em pauta, os tempos médios de exposição recomendados:

ICNIRP: como foi dito, para as frequências compreendidas na faixa de 100 kHz a 10 GHz, foi estabelecido o valor de 6 minutos como tempo médio de exposição, tanto para exposição ocupacional quanto para o público em geral. Para as frequências maiores de 10 GHz, é calculada a média temporal dos níveis de exposição para um período de $68/f^{1.05}$ minutos (f em GHz). Nota-se que a redução do tempo médio vai de 6 minutos para 10 GHz até 10 segundos para 300 GHz. Isso é feito como compensação pela diminuição progressiva da profundidade de penetração com o aumento da frequência, a fim de evitar queimaduras superficiais.

ANSI/IEEE: para exposição ocupacional, na faixa de 100 kHz a 15 GHz, foi estabelecido o valor de 6 minutos como tempo médio de exposição. Para as frequências acima de 15 GHz, é calculada a média temporal dos níveis de exposição para um período de $616.000/f^{1.2}$ minutos (f em MHz). Nesse caso, assim como para a ICNIRP, a redução do tempo médio vai de 6 minutos para 15 GHz até 10 segundos para 300 GHz, pelas mesmas razões supracitadas.

Para exposição do público em geral, o valor de 30 minutos foi estabelecida para a maior parte do espectro (de 3 MHz até 3 GHz). Para as frequências mais baixas, de 100 kHz a 1.34MHz e de 1.34 a 3 MHz, foram recomendados os tempos médios de 6 e $f^2/0.3$ minutos, respectivamente. Já para as frequências mais altas, de 3 a 15 GHz e de 15 a 300 GHz, foram recomendados os tempos médios de $90.000/f$ e $616.000/f^{1.2}$ minutos, respectivamente.

FCC: Essa norma fez a escolha mais simples das três. Para exposição ocupacional e para toda a faixa de frequência (no caso de 300 kHz a 100 GHz) o valor de tempo médio recomendado foi de 6 minutos. Já para exposição do público em geral o valor é de 30 minutos, também para todo o espectro.

O “porquê” da escolha do valor de 6 minutos como tempo médio de exposição não é explicado por nenhuma das Normas estudadas. Isso tem provocado constrangimento em vários profissionais da área. Esse valor vem sendo utilizado desde a metade da década de 50 do passado século, quando foi introduzido por pesquisadores da Marinha Norte-americana (“U.S. Navy”). Segundo os estudos experimentais desses cientistas (publicados a partir de 1964), 6 minutos é o tempo necessário para estabelecer o estado estacionário de termo-regulação do organismo. Desse ponto de vista, 6 minutos é considerado a fronteira entre a exposição de curta duração (“short-term”) e a de longa duração (“long-term”), no que se refere aos efeitos térmicos.

Assim, foi também estabelecido o limiar de que para exposições menores de 6 minutos, os níveis recomendados podem ser excedidos se o produto entre o tempo médio de exposição e a SAR, conhecido como Absorção Específica (SA), é igual ou menor do que 144 J/kg. [1, 2, 7]

As principais normas, baseadas nesses conceitos, estabeleceram seus próprios limites de tempo de exposição, como já foi visto. Em geral, os mais

utilizados (6 minutos para exposição ocupacional e 30 minutos para o público em geral), cumprem com o limiar de Absorção Específica (SA – Specific Absorption), pois resgatam os valores da SAR das restrições básicas:

Exposição ocupacional: $SA = 0.4 \text{ W/kg} \times (6 \times 60) \text{ segundos} = 144 \text{ (J/kg)}$.

Exposição para o público em geral: $SA = 0.08 \text{ W/kg} \times (30 \times 60) \text{ segundos} = 144 \text{ (J/kg)}$.

Os outros valores de tempo médio implementados (ver tabelas 5, 6 e 7), a maioria dependentes da frequência, são ainda menores, portanto o limiar de SA sempre é garantido.

Para exposições de longa duração (maiores de 6 minutos), tendo a termo-regulação estabelecido o balanço térmico, o organismo pode permanecer exposto por longos períodos de tempo a um determinado nível de radiação de RF sem perder a estabilidade térmica. Portanto, se uma pessoa fica exposta às radiações de uma fonte de RF que opera continuamente produzindo um nível aceitável de radiação e o tempo excede de 6 minutos, não é necessário calcular a média temporal para classificar a exposição como segura.

Outros pesquisadores, no entanto, não concordam em considerar 6 minutos como valor correto da estabilidade térmica, considerando-o muito conservador. Estudos posteriores, datados de 1979 e 1982, sugerem que a condição de estado térmico estável é atingida pelo organismo humano em aproximadamente 1 hora.

De qualquer maneira, no estágio atual de conhecimento, a escolha de 6 minutos como recomendação de tempo médio nas Normas, baseada no limiar de $SA = 144 \text{ J/kg}$, é acertada, pois na pior das hipóteses estar-se-ia “pecando” por excesso de prudência, caso a ciência comprove algum dia que definitivamente não é esse o valor adequado.

2.4 EFEITO BIOLÓGICO EM BAIXAS FREQUÊNCIAS

Como visto até agora, para a faixa de RF de 100 kHz a 300 GHz os efeitos biológicos são de natureza térmica, devido à absorção de energia pelo organismo.

Para frequências mais baixas (3 kHz – 100 kHz) o efeito predominante consiste na eletro-estimulação do organismo, em que o principal mecanismo de interação é a indução de correntes em tecidos. Esse efeito pode ser percebido ainda até poucos MHz.

Algumas das principais normas internacionais têm recomendado limites para a densidade de corrente (J , em mA/m^2) e correntes (I , em mA) induzidas no interior do corpo devido à exposição a radiações de RF na faixa de 3 kHz a 100 MHz.

As restrições básicas e níveis de referência foram estabelecidos atendendo a dois mecanismos de acoplamento:

Correntes induzidas: A interação física de campos elétricos e magnéticos externos, com o corpo humano, resulta na indução de correntes elétricas circulantes, cuja distribuição depende das condições de exposição, do tamanho, da forma e das propriedades elétricas do corpo, da posição deste no campo e, fundamentalmente, da frequência.

Estudos experimentais em animais e humanos (voluntários) permitiram estabelecer os limiares fisiológicos de risco para essa faixa de frequência:

No caso das frequências mais baixas (entre 3 – 100 kHz), reações adversas no sistema nervoso e em músculos, podem ser provocadas por densidades de correntes acima de 10 mA/m^2 . À medida que a frequência aumenta, acima de 100 kHz, esse efeito de eletro-estimulação diminui, sendo que aproximadamente aos 10 MHz passa a ganhar predominância o sobre-aquecimento local dos tecidos, fundamentalmente na pele e nos membros inferiores. Assim, para a faixa de 100 kHz até 100 MHz aproximadamente, o valor de 100 mA de corrente induzida por cada perna foi escolhido como limite para evitar efeitos de aquecimento excessivo.

Nota-se, então, que para garantir exposição segura de riscos biológicos na faixa de 100 kHz até 100 MHz devem ser adotados critérios de proteção para evitar tanto efeitos de eletro-estimulação, quanto efeitos de aquecimento como produto da absorção de energia nos tecidos.

Correntes de contato (efeito indireto): Efeitos indiretos de campos de RF podem resultar do contato físico (ou apenas da aproximação) de uma pessoa com um objeto condutor nas seguintes condições: um dos dois (a pessoa ou o objeto) não esteja aterrado e tenha sido carregado eletricamente pela exposição a campos eletromagnéticos e o outro elemento (a pessoa ou o objeto) esteja em contato com a “terra”, possuindo um potencial elétrico diferente.

Nessa situação, no caso do contato físico, acontece um fluxo de carga elétrica (corrente de contato) através do corpo humano. A amplitude e a distribuição espacial de tais correntes dependem da frequência, do tamanho do objeto, do tamanho da pessoa e da área de contato, entre outros fatores.

No segundo caso, quando um indivíduo chega muito próximo ao objeto, sem mesmo tocá-lo, podem ocorrer descargas elétricas transitórias, transmitindo-se rapidamente a energia de radiofrequência acumulada para a pele, podendo ocasionar danos nos tecidos.

Os valores limites de intensidade de corrente (em mA), correspondentes aos efeitos biológicos, variando em severidade desde a percepção até a dor, foram determinados a partir de experiências controladas, realizadas com voluntários. Em geral, pode-se concluir que:

- os limites para esses efeitos dependem da frequência, com os valores mais baixos (i.e., mais restritos) aparecendo nas frequências mais baixas (3 a 100 kHz). Por exemplo: para a ICNIRP, exposição ocupacional, os valores vão de 1,2 mA (a 3 kHz) até 40 mA (a 100 MHz). No caso da ANSI/IEEE, os limites são menos restritivos, sendo que para exposição ocupacional os valores vão de 3 mA (a 3 kHz) até 100 mA (a 100 MHz);
- os limites variam pouco na faixa de frequências de 10 kHz a 100 MHz;
- existem diferenças significativas entre a sensibilidade de homens, mulheres e crianças. Isso foi considerado ao estabelecer os níveis de referência para exposição do público em geral;
- deve-se notar que o limite superior de frequências (100 MHz) é fixado por falta de dados nas frequências mais altas e pela ausência de efeitos acima desse limite.

É interessante comentar que a FCC, em sua atual Norma, não faz recomendações relacionadas aos efeitos de eletro-estimulação a baixas frequências de RF, isso é, não estabeleceu limites para correntes induzidas e de contato. O boletim OET 65 (1999) [4] argumentou que:

“... A FCC recusou-se a adotar limites para as correntes induzidas e de contato devido, principalmente, às dificuldades para a determinação confiável de complacência com os atuais métodos, tanto os de predição quanto os de medições diretas”.

2.5 EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA A MÚLTIPLAS FREQUÊNCIAS

Existem situações em que a exposição pode acontecer devido a uma fonte que gera sinais em múltiplas frequências, ou várias fontes gerando cada uma apenas um sinal, mas com frequências diferentes. Sendo os limites de exposição recomendados pelas normas, dependentes da frequência, é grande a probabilidade das pessoas ficarem expostas a sinais com limites de segurança diferentes.

Nesses casos de exposição a frequências múltiplas, a seguinte equação pode ser utilizada:

$$\frac{NM_1}{LE_1} + \frac{NM_2}{LE_2} + \dots + \frac{NM_n}{LE_n} \leq 1$$

Onde:

n – Número de sinais medidos de frequências diferentes;

NM – Nível do Sinal Medido para cada frequência (podendo ser E, H, S, I);

LE – Limite de Exposição correspondente à frequência do sinal medido (podendo ser E, H, S, I).

Por exemplo, para verificar complacência com os níveis de referência de campos elétricos e magnéticos, a expressão acima seria expressa da seguinte maneira:

$$\frac{E_{NM_1}}{E_{LE_1}} + \frac{E_{NM_2}}{E_{LE_2}} + \dots + \frac{E_{NM_n}}{E_{LE_n}} \leq 1$$

$$\frac{H_{NM_1}}{H_{LE_1}} + \frac{H_{NM_2}}{H_{LE_2}} + \dots + \frac{H_{NM_n}}{H_{LE_n}} \leq 1$$

Para cada relação das expressões acima, tanto a grandeza medida quanto o limite de exposição devem estar expressos nas mesmas unidades e na mesma frequência.

Se as somatórias excedem o valor unitário, então é considerada a possibilidade de sobre-exposição. Essas equações com somatórias, foram concebidas para condições de “pior caso” para os campos devidos a fontes múltiplas. Como resultado, em situações práticas típicas, podem ser permitidos níveis de exposição menos restritivos do que os níveis de referência aqui citados.

É importante destacar ainda, que para o uso dessa equação, o princípio de aditividade de efeitos usado na toxicologia deve ser cumprido (consideram-se apenas os agentes de riscos que podem provocar efeitos toxicológicos da mesma natureza). Isso significa que somente poderão ser somados aqueles sinais de RF que provoquem efeitos biológicos da mesma natureza. No caso, a aditividade deve ser examinada separadamente atendendo aos efeitos de estimulação térmica e elétrica. Por exemplo, a equação pode ser utilizada corretamente para considerar a exposição a sinais de múltiplas frequências na região onde a SAR é considera restrição básica (100 kHz a 10 GHz), onde efeitos biológicos são de natureza térmica, devido à absorção de energia pelo organismo; na região onde a densidade de potência S é considera restrição básica (10 GHz a 300 GHz), onde efeitos biológicos são também de natureza térmica, mas a absorção de energia é apenas superficial e na região onde o efeito predominante consiste na eletro-estimulação do organismo (3 kHz – 100 kHz), em que o principal mecanismo de interação é a indução de corrente nos tecidos.

2.6 INTERFERÊNCIA SOBRE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

O cumprimento das diretrizes das principais Normas vigentes, incluindo as três analisadas neste estudo, não garantem que sejam evitados interferências ou efeitos em dispositivos médicos como: próteses metálicas, marca-passos cardíacos, desfibriladores e implantes cocleares. Segundo a própria ICNIRP: “... *está fora da esfera deste documento recomendar como evitar tais problemas...*”.

Estudos têm mostrado que a interferência em marca-passos pode ocorrer mesmo para valores abaixo dos níveis de referência recomendados. Por exemplo, foi demonstrado que ao colocar alguns modelos de telefone celular diretamente sobre alguns modelos de aparelhos como marca-passos e desfibriladores o desempenho dos mesmos foi afetado [11].

Essa é uma das razões pela qual os equipamentos emissores de energia eletromagnética devem exibir seus níveis de emissão, para que em contrapartida os fabricantes de dispositivos eletrônicos de uso médico possam orientar devidamente seus usuários quanto à susceptibilidade eletromagnética dos mesmos.

Por outro lado, as regulamentações sobre limites de dose para agentes causadores de efeito biológico são de que os níveis recomendados para o público em geral devem cobrir todas as possibilidades humanas, incluindo, neste caso, os portadores de próteses eletromédicas. Eis um item polêmico na discussão dos limites até agora definidos!

2.7 O CONTROVERSO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

Como anteriormente comentado, existem em alguns países normas que diferem significativamente das mencionadas, muito mais restritas, nas quais os enfoques e critérios empregados para o estabelecimento dos limites de exposição são muito diferentes. Encontramos nesse grupo a Rússia, a China, a Itália e a Suíça, dentre outros.

Por exemplo, desde 1959 a antiga União Soviética (e atualmente a Rússia) adotou como limite de densidade de potência para toda a faixa de RF o valor único de $0,01 \text{ mW/cm}^2$ [8].

A fixação de um valor único para o máximo de densidade de potência representa um retrocesso de muitos anos, quando havia normas que não estabeleciam valores diversos, conforme a faixa de frequências. Todas as normas internacionais recentes incluem essa diversidade [5].

Na Itália, através do Decreto nº 381 de 10 setembro de 1998 do Ministério do Meio ambiente, foi adotado este mesmo valor de $0,01 \text{ mW/cm}^2$ na faixa das emissões de rádio AM e FM, TV e de telefonia celular (aproximadamente de 500 KHz a 2 GHz). Tanto os governos regionais têm a competência para reduzir ainda mais esse limite, existindo regiões onde os valores regulamentados são até 4 vezes menores ($0,0025 \text{ mW/cm}^2$).

Na Suíça, segundo a “Regulamentação sobre Proteção contra a Radiação não-Ionizante”, do Conselho Federal Suíço (1999) [8], para as emissões de telefonia celular a 900 MHz, o nível de densidade de potência permitido é de $0,0042 \text{ mW/cm}^2$ e para 1800 MHz, e de $0,0095 \text{ mW/cm}^2$. Na faixa das emissões de rádio e TV a norma indica de $0,0024$ a $0,019 \text{ mW/cm}^2$.

Observa-se que os níveis nesses países são até mais de cem vezes mais rigorosos do que os recomendados pelas Normas aqui referidas. Basta lembrar, por exemplo, para as faixas de frequências da telefonia celular (800 a 2200 MHz aproximadamente), a ICNIRP recomenda limites de exposição de densidade de potência para o público em geral de $0,4$ a $1,0 \text{ mW/cm}^2$. No caso ANSI/IEEE, na mesma faixa, os valores são $0,53$ a $1,46 \text{ mW/cm}^2$ e da FCC $0,53$ a $1,0 \text{ mW/cm}^2$.

Com esse proceder, os órgãos regulamentadores desses países mostram total desconfiança nos resultados das pesquisas desenvolvidas pela comunidade científica em relação aos efeitos biológicos não térmicos das radiações de RF, antecipando-se com suas rígidas normas à possível comprovação futura de que esses verdadeiramente existam e impliquem riscos à saúde.

De certa forma, estes países estão adotando o “Princípio de Precaução” que, segundo a OMS [13]:

“... é um critério de abordagem de riscos aplicado em circunstâncias com alto grau de incerteza científica, refletindo a necessidade de tomar atitudes

em face de riscos potencialmente sérios, sem esperar resultados da pesquisa científica...”.

Originalmente o Princípio de Precaução foi concebido com o intuito de evitar conseqüências catastróficas para a humanidade devido à aplicação de novas tecnologias, como por exemplo, as que atentam contra a camada de ozônio e contribuem para o “efeito estufa” [7]. Nos últimos anos, fundamentalmente na Europa, existe uma tendência crescente (promovida principalmente por alguns movimentos ambientalistas) para atacar, sob pena de que representam perigo potencial, qualquer avanço tecnológico, incluindo os relacionados com a energia eletromagnética. Assim, essas novas tendências do Princípio de Precaução são contrárias às atuais Normas de proteção às radiações de RF, advogando pela imposição de limites ultra-rigorosos, com o intuito de controlar ao máximo e, até mesmo, eliminar os atuais equipamentos geradores de radiações eletromagnéticas. Tal linha de pensamento totalmente injustificada, ligada à “eletrofobia” (à qual o Princípio de Precaução fomenta), constitui um dos principais obstáculos que a comunidade científica deverá enfrentar neste novo século para preservar as bases verdadeiramente científicas das Normas.

3 NÍVEIS URBANOS DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

3.1 ARGUMENTO PRELIMINAR

Os principais organismos internacionais de normatização e fiscalização dos serviços que utilizam radiofrequências determinam limites para a operação e níveis de radiação eletromagnética sobre todo o espectro eletromagnético. Em se tratando de campos de múltiplas frequências, os ambientes “multi-usuários”, devem levar em conta, todas as contribuições dos sinais, mas não definem como deverão ser somados seus efeitos; essa é uma questão ainda sem definição precisa, que merece especial atenção.

O Regulamento da ANATEL sobre exposição a campos eletromagnéticos, baseado na ICNIRP, refere-se à avaliação de locais multi-usuários no Capítulo Cinco, do qual se destacam os artigos de especial interesse neste trabalho:

Art. 55. Nos locais em que estejam instaladas ou que venham a ser instaladas mais de uma estação transmissora de radiocomunicação operando em radiofrequências distintas - locais multi-usuários – cada um dos usuários é responsável pela comprovação de que sua estação atende ao estabelecido neste regulamento. Entretanto, todos os usuários devem colaborar na avaliação do local como um todo. A responsabilidade de cada um dos usuários, no caso de não atendimento, será proporcional à sua contribuição na composição dos campos nos locais em que os limites foram excedidos.

§ 1º. Os responsáveis pelas estações transmissoras de radiocomunicação instaladas em locais multi-usuários devem cooperar na avaliação do local como um todo, fornecendo aos demais as informações técnicas e análises relevantes, bem como os resultados de avaliações já efetuadas.

§ 2º. Não havendo acordo entre as partes envolvidas na avaliação de locais multi-usuários, a ANATEL, por solicitação de uma das partes, coordenará o processo de avaliação e arbitrará a participação de cada parte na solução de casos de não atendimento aos limites de exposição estabelecidos.

Art. 57. Para avaliação dos efeitos térmicos relevantes, acima de 100 kHz, a determinação do atendimento aos limites de exposição pode ser efetuada por meio da utilização das seguintes expressões:

$$\sum_{i=100\text{ KHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{e} \quad \sum_{i=100\text{ KHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

Onde:

E_i - é o valor da intensidade de campo elétrico na frequência i .

$E_{L,i}$ - é o limite de campo elétrico, de acordo com as Tabelas.

H_j - é o valor da intensidade de campo magnético na frequência j .

$H_{L,j}$ - é o limite de campo magnético, de acordo com as Tabelas.

“c” - deve ser igual a $610/f$ V/m (f em MHz) para exposição ocupacional e $87/f^{1/2}$ V/m para exposição do público em geral.

“d” - deve ser igual a $1,6/f$ A/m (f em MHz) para exposição ocupacional e $0,73/f$ A/m para exposição do público em geral.

Art. 59. Na avaliação prática dos locais multi-usuários, primeiramente devem ser efetuadas medições utilizando sondas de faixa larga, que englobem as radiofrequências das fontes emissoras relevantes, com todas as estações existentes no local em operação com sua potência máxima autorizada, para determinar a existência de áreas onde os limites de exposição sejam excedidos.

Art. 60. A determinação das contribuições individuais ao campo total, na avaliação prática, pode ser efetuada por meio de medições utilizando sondas de faixa larga que englobe (sic) as radiofrequências das fontes emissoras relevantes, com cada estação operando individualmente, ou utilizando-se instrumentos de medida de faixa estreita.

Em geral essas recomendações são comuns à maioria das normas sobre radiação de radiofrequências. Em um estudo mais detalhado, incluindo medições, observa-se que este procedimento garante o controle das fontes de emissão, mas não resolve o problema da contribuição individual de cada componente do campo total do ponto de vista da dosimetria, notadamente para estudos dos efeitos biológicos.

Faz-se necessária mais pesquisa para definição sobre a soma das contribuições individuais, pelas seguintes razões:

- ainda que o nível de cada frequência esteja muito abaixo da norma, a soma aritmética do conjunto de frequências pode ultrapassar a tolerância ao efeito térmico;
- de 100 kHz a cerca de 10 GHz a absorção de energia pelo organismo produz aquecimento dos tecidos, de 10 GHz a 300 GHz a interação com o organismo é “quase-ótica” produzindo aquecimento superficial, cada faixa; portanto manifesta seus efeitos de forma diversa e a intensidade de seus campos deve ser avaliada de forma particular, não apenas pela soma de intensidades;
- os experimentos “in vitro” e “in vivo” sempre expõem as cobaias a um valor fixo de frequência, ou um intervalo, é necessário estudos com campos de amplo espectro;
- em um ambiente multi-usuário, os sinais individuais que atuam sobre um mesmo organismo podem anular-se, atenuar-se, somarem-se ou multiplicarem-se, de acordo com a fase ou reflexão de cada sinal, é necessário considerar esse fenômeno nas avaliações de dose nos ambientes;
- um organismo complexo, como o corpo humano, com várias camadas de tecidos sobrepostas, com características próprias de permissividade, permeabilidade e condutividade (seus tensores), extremamente não lineares e anisotrópicas, apresenta reações adversas entre indivíduos, etnias e faixas etárias.

Tais considerações tendem a aumentar substancialmente a complexidade do problema, uma vez que no ambiente urbano existem locais com maior concentração de antenas, mas as fontes de radiofrequências intencionais e não-intencionais são distribuídas por todo o espaço urbano, incluindo-se os ruídos de radiofrequência gerados pelo chaveamento em circuitos eletrônicos que se propagam pelos ambientes domésticos e locais de trabalho.

Construir um “MAPA ELETROMAGNÉTICO URBANO” demanda não apenas uma matriz de medições in loco, mas a inclusão de cada uma das considerações supracitadas.

Este trabalho pretende contribuir, além dos argumentos da literatura e pesquisa em curso, com a apresentação de valores de campo eletromagnético medidos, como forma de ilustrar a diversidade de sinais presentes no ambiente urbano, somando esforços para um melhor equacionamento da questão do efeito biológico da radiação eletromagnética.

3.2 EQUIPAMENTO

Para as medições, foi utilizado o Receptor EB-200, Rhode & Schwartz, (figura 03) composto por um receptor, um conjunto de antenas e um computador com o programa de controle remoto de operação e armazenamento de dados.

Necessário se faz neste momento agradecer à Rhode & Schwartz, especialmente ao Escritório Brasileiro da Empresa Alemã, a gentileza da cessão do equipamento para as medições. Este importante instrumento viabilizou a medição de campo e sua avaliação.



Figura 03 – Receiver EB200

3.2.1 Características do EB200

O “Miniport Receiver EB200” (figura 04) é um receptor e um conjunto de antenas direcionais, compondo uma unidade portátil para monitoramento de sinais de radiofrequência de faixa larga, de 10 kHz a 3 GHz. As principais tarefas que ele possibilita são:

- Monitoramento e armazenagem de sinais na faixa de 10 kHz a 3GHz;
- Varredura e medição de níveis de campo eletromagnético;
- Busca e medição de campo em frequências ou intervalos programados;
- Detecção de todo tipo de emissão, incluindo as pulsadas;
- Monitoramento de transmissões selecionadas;
- Controle remoto, via computador, com armazenamento de gráficos.

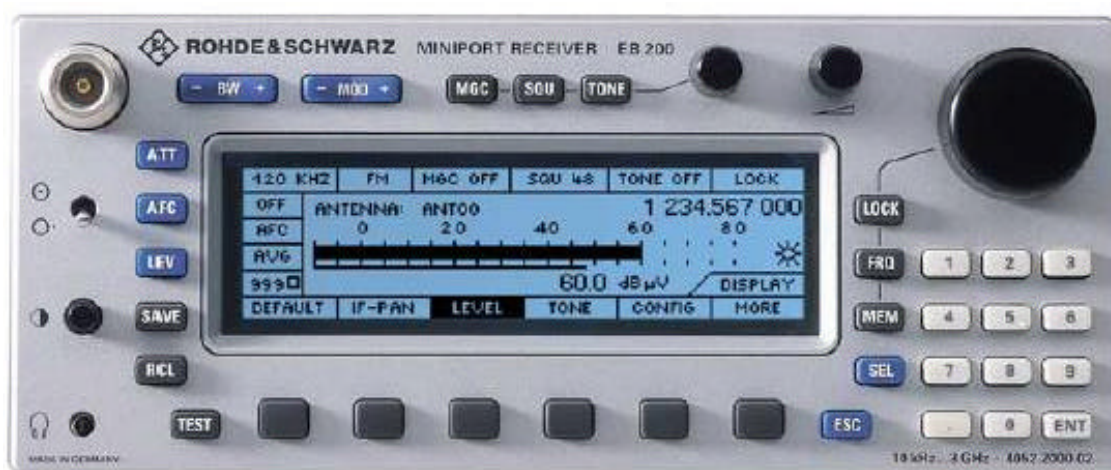


Figura 04 - EB200 – Painel Frontal

3.2.2 Antenas

Portáteis e práticas para o transporte, o conjunto de antenas cobre toda a faixa de medição do equipamento. Para as medições de 10 kHz a 20 MHz é utilizada uma antena “loop”. Para a faixa de 20 MHz a 200 MHz e de 200 MHz a 500 MHz as duas antenas são “loop”. Para a faixa de 500 MHz a 3 GHz é utilizada uma antena dipolo log-periódica (figura 05).



Figura 05 – Antenas para as quatro faixas de medição do EB200

3.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO

Dentre os vários pontos testados para medição, alguns foram escolhidos por representarem expressivamente locais de grande fluxo de pessoas e mostrarem valores diferenciados de campo eletromagnético. Sobre esses pontos foi feita a presente análise.

Florianópolis, uma cidade de médio porte, com todas as fontes de radiação eletromagnética possíveis em um ambiente urbano brasileiro típico, com uma geografia acidentada que contribui ainda mais para as possíveis reflexões dos sinais nela gerados e amplia a representatividade do experimento. Foram escolhidos quatro pontos para a análise no presente trabalho, considerada apenas a área urbana adjacente ao Morro da Cruz, fonte da maior quantidade de emissores de radiofrequência, cobrindo praticamente todas as faixas do espectro de comunicação.

No mapa da figura 06 estão identificados os pontos de medição assim numerados:

- Morro da Cruz, junto à principal antena transmissora da EMBRATEL e próximo às principais antenas de comunicação de emissoras de rádio, televisão, telefonia e enlaces de microondas;
- Campus da UFSC, exatamente ao lado leste do Restaurante Universitário, próximo a uma ERB e com visada direta para o Morro da Cruz;
- Campus do CEFET-SC, no campo poliesportivo da instituição tem-se visada direta do Morro da Cruz;
- Alto da Rua Felipe Schmidt, próximo à Ponte Hercílio Luz, a maior distância das principais emissoras, mas com cota elevada, em relação ao centro da cidade.



Figura 06 – Mapa da região Central e Trindade, em Florianópolis, SC.

O mapa detalha os pontos de medição em relação ao Morro da Cruz (ponto 1), para considerar o pior caso, todos os pontos de medição têm visão direta para o Morro da Cruz, bem como foram escolhidos locais onde as antenas próximas oferecessem visão direta, para considerar as influências locais.

3.4 PROTOCOLO DE MEDIÇÃO

Para a definição do protocolo de medição, foram consideradas as recomendações da Resolução 303 de 02/07/02 da ANATEL, que aprova o “Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz”.

O Regulamento da ANATEL não detalha a metodologia ou a instrumentação a ser empregada, referindo-se apenas a algumas considerações para validação das medições. Trata-se de um regulamento baseado nas Diretrizes da ICNIRP sobre o assunto, ressalte-se que o documento expressa:

“A ANATEL poderá determinar a alteração dos requisitos estabelecidos neste regulamento, mesmo para estações transmissoras de radiocomunicação cuja avaliação já tenha sido efetuada, de forma a refletir os resultados de pesquisas futuras ou em andamento sobre efeitos da exposição humana a CEMRF. Em caso de alteração nos requisitos, a ANATEL fixará prazo adequado para o enquadramento das estações e as medidas provisórias a serem adotadas, caso necessárias”.

Serão adotados como protocolo de medição, os seguintes procedimentos:

- todas as medições foram realizadas em um mesmo dia útil, no horário comercial;
- as medições foram realizadas pela mesma equipe, repetindo-se os mesmos procedimentos em cada local de medição;
- as medições foram validadas quando os níveis de campo elétrico atingiram seu ápice, privilegiando o caso crítico;
- a direção das antenas sempre obedeceu a maior intensidade de sinal e sua permanência;
- as antenas foram posicionadas sempre à mesma altura do solo;
- foi evitada a interferência de objetos metálicos ou similares refletores de radiação eletromagnética;
- para validação do experimento, foi realizada medição comparativa entre o EB-200 e o Receptor/Analisador do MagLab - Laboratório de

Eletromagnetismo para Engenharia da UFSC, cujos valores mantém coerência nas devidas faixas;

- o EB-200 utilizou baterias próprias evitando interferência induzida das redes locais de alimentação;
- foram obedecidas todas as recomendações do fabricante do equipamento de medição quanto à operação, transporte, alimentação e ajustes.

3.5 RESULTADO DAS MEDIÇÕES

Cada local de medição apresenta um gráfico dos intervalos de frequência correspondente à sensibilidade das antenas do equipamento; as diferentes tonalidades nos valores do sinal correspondem às oscilações dos sinais durante a medição, sendo considerados para fins de análise apenas os valores de pico instantâneos.

Em cada ambiente, foram realizadas cinco medidas com os seguintes intervalos cada: de 10 kHz até 1 MHz; de 1MHz até 20 MHz; de 20 MHz até 200 MHz; de 200 MHz até 500 MHz; de 500 MHz até 3 GHz.

De acordo com o manual de instruções do EB-200, os resultados são expressos em dBμV/m, isto é, o valor absoluto do campo elétrico é expresso de forma logarítmica, para efeito de avaliação gráfica. A relação de conversão é:

$$E_{dB} = 20 \log \frac{E_{V/m}}{10^{-6}}$$

Para facilitar a interpretação dos gráficos, a tabela 09 mostra a relação de conversão de alguns valores:

Campo em dBμV/m	Campo em V/m
0	1×10^{-6}
25	$17,8 \times 10^{-6}$
50	$316,2 \times 10^{-6}$
75	$5.623,4 \times 10^{-6}$

Tabela 09 – Campo Elétrico em decibéis e em Volts por metro

3.5.1 Espectro de 10 kHz a 1 MHz

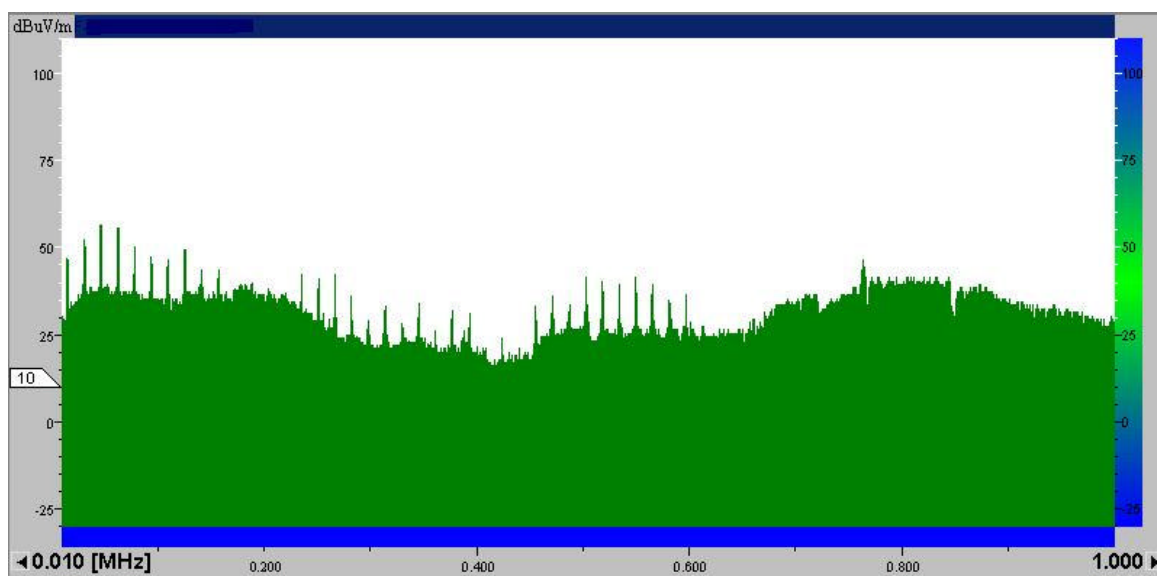


Figura 07 – Medição no Morro da Cruz

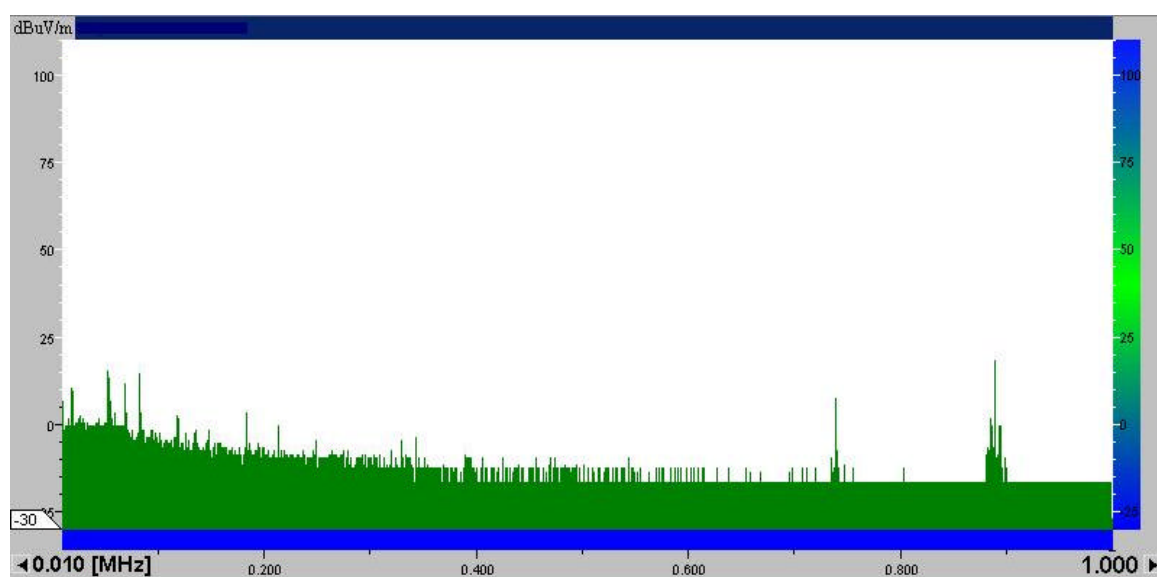


Figura 08 – Medição no Alto da Felipe Schmidt

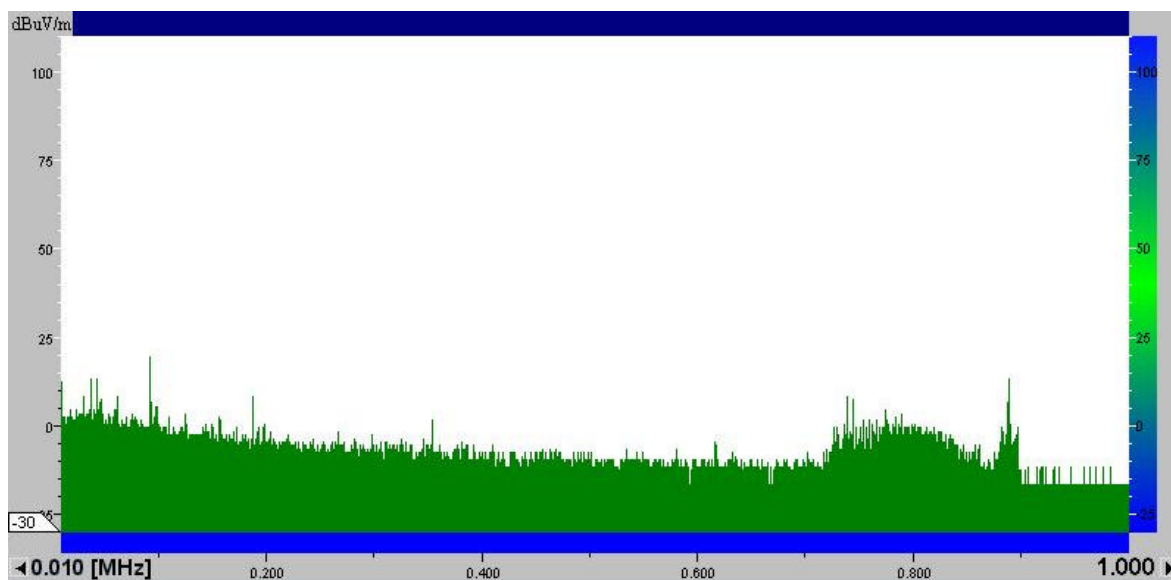


Figura 09 – Medição no Campus CEFET-SC

3.5.2 Espectro de 1 MHz a 20 MHz

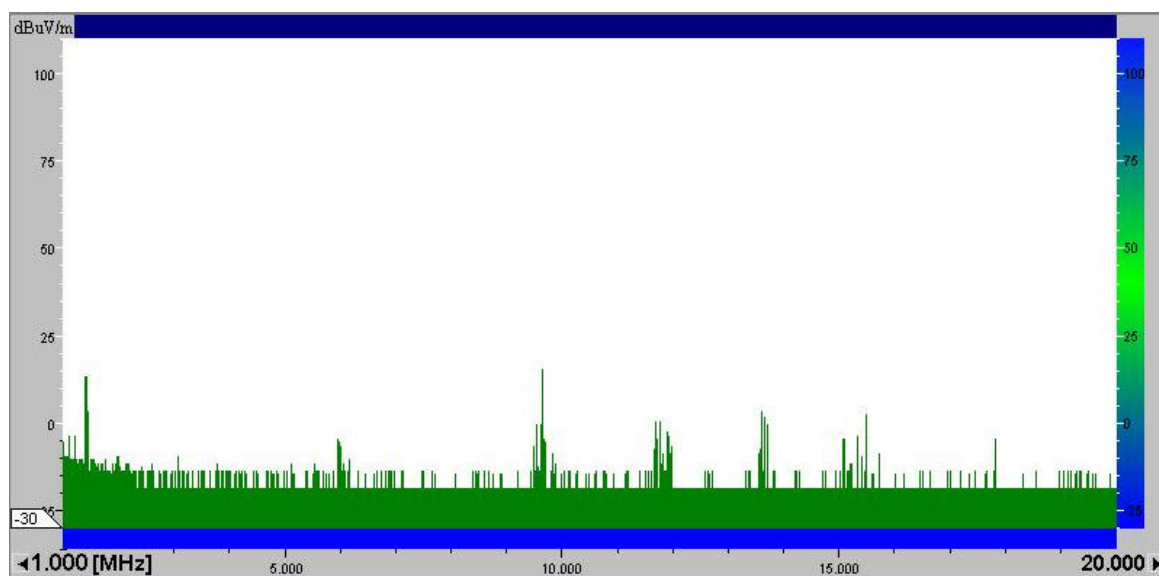


Figura 10 – Medida no Alto da Felipe Schmidt

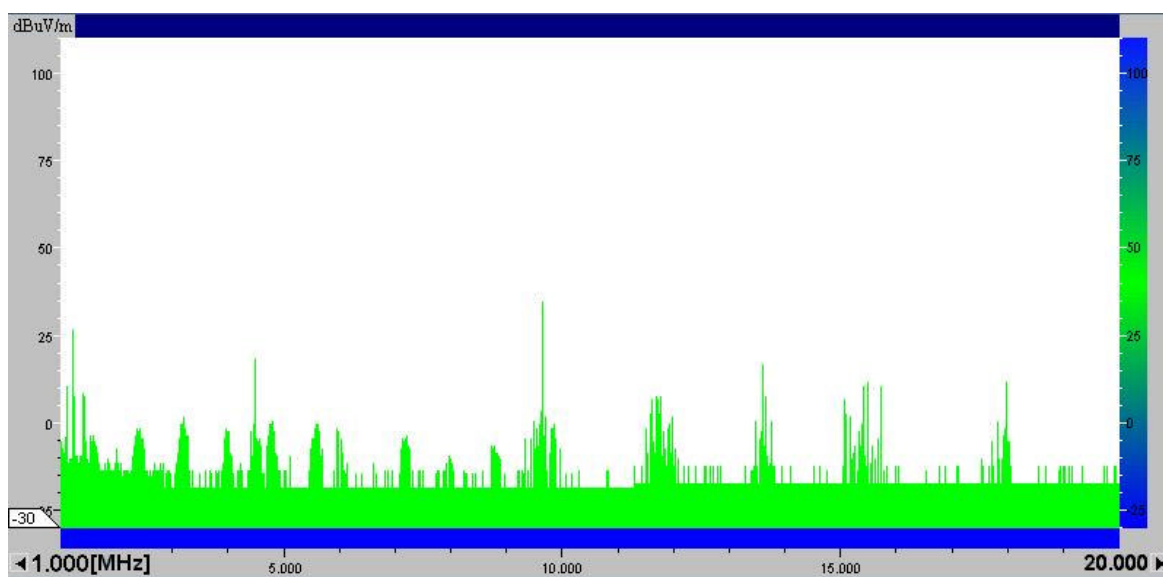


Figura 11 – Medida no CEFET-SC

3.5.3 Espectro de 20 MHz a 200 MHz

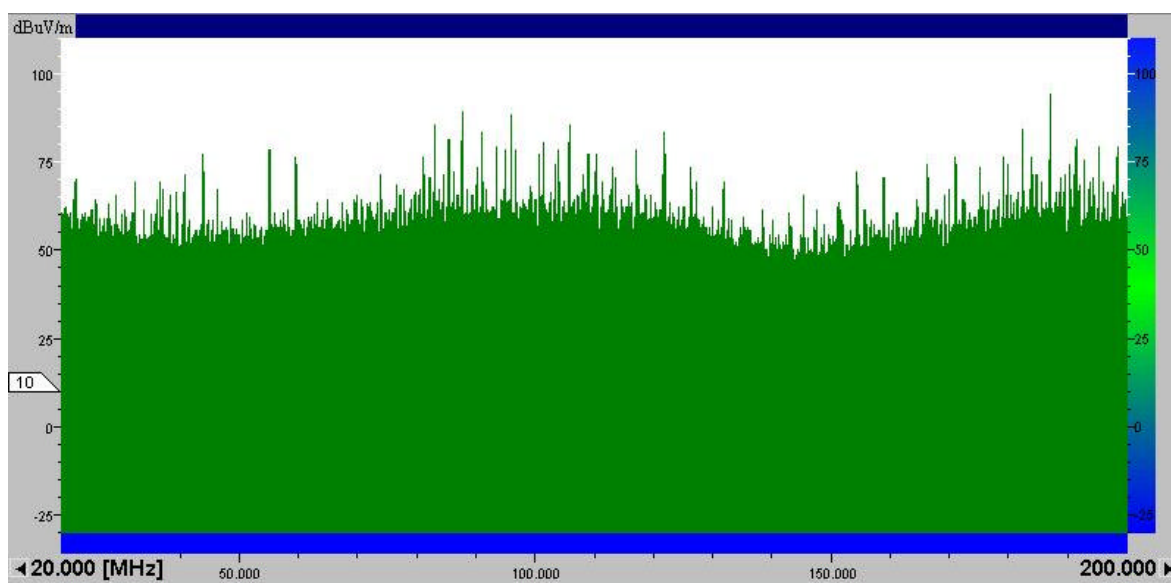


Figura 12 – Medição no Morro da Cruz

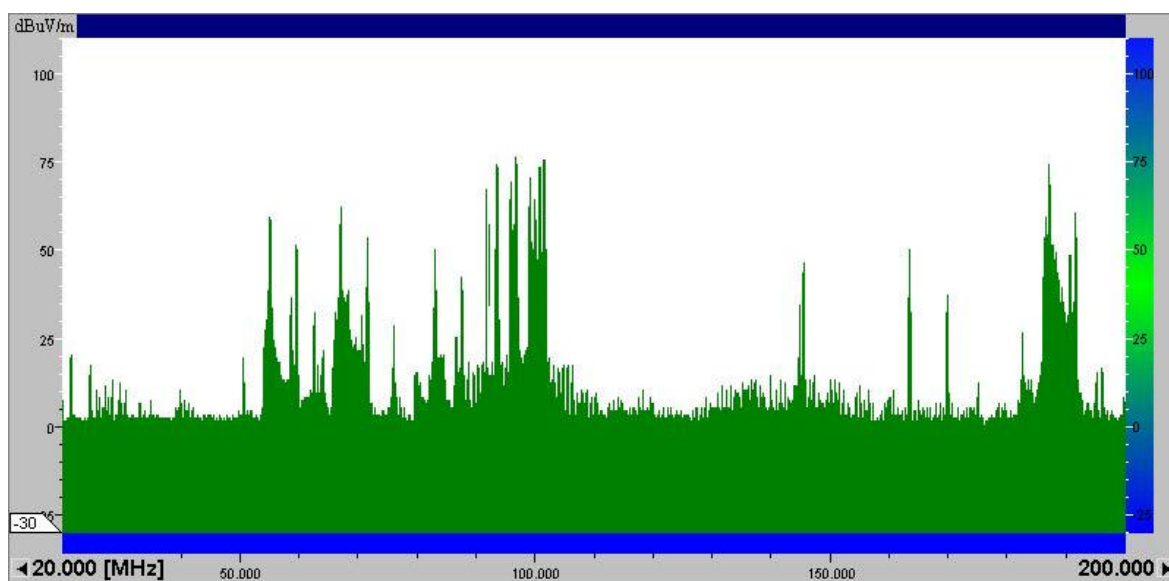


Figura 13 – Medição no Campus da UFSC

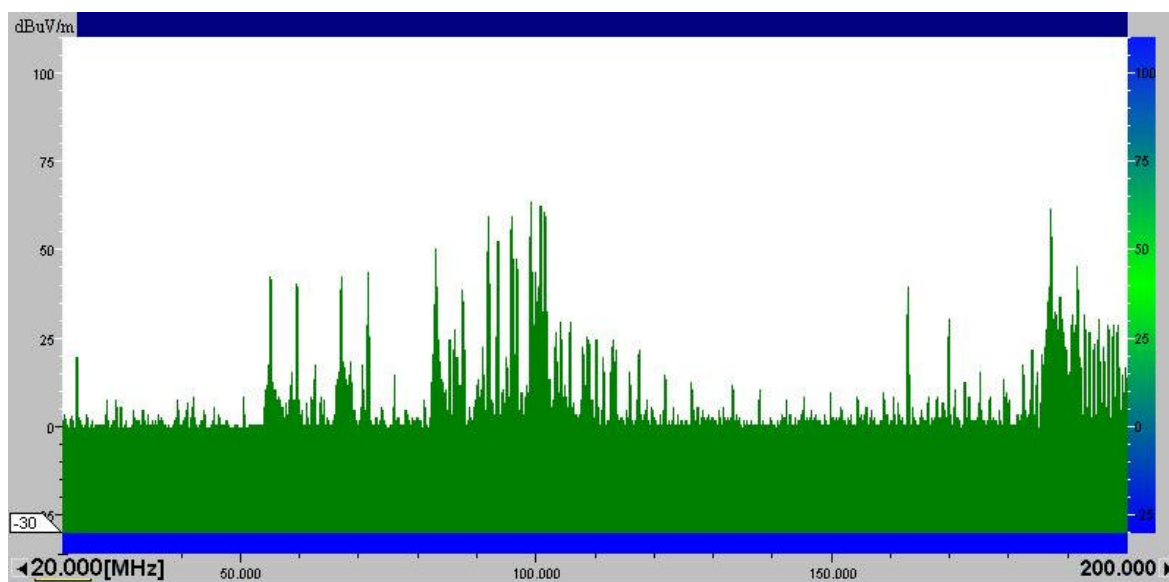


Figura 14 – Medição no CEFET-SC

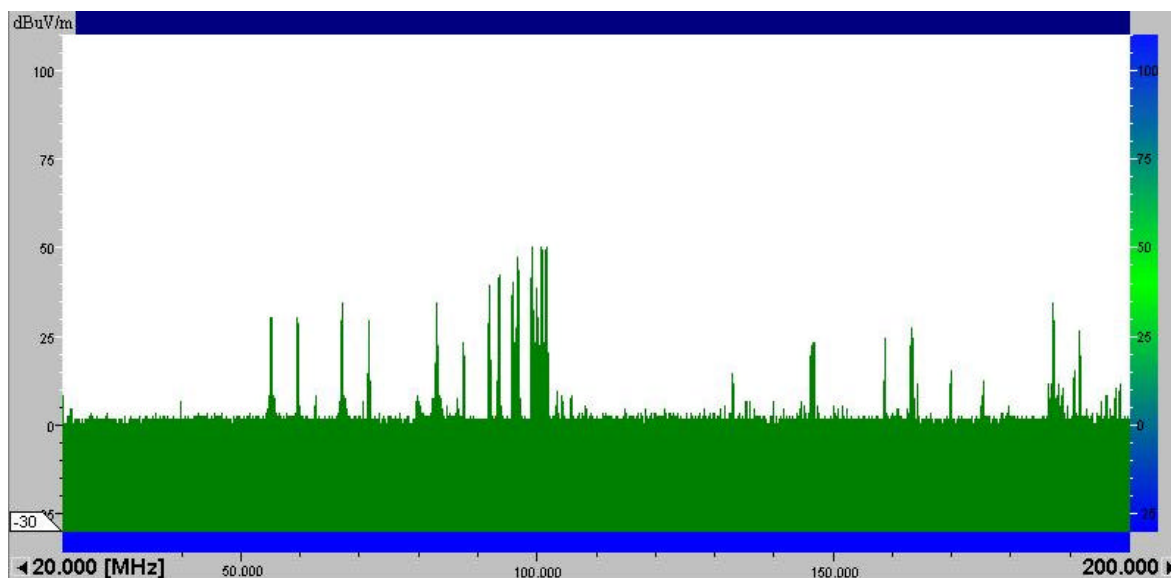


Figura 15 – Medição no Alto da Felipe Schmidt

3.5.4 Espectro de 200 MHz a 500 MHz

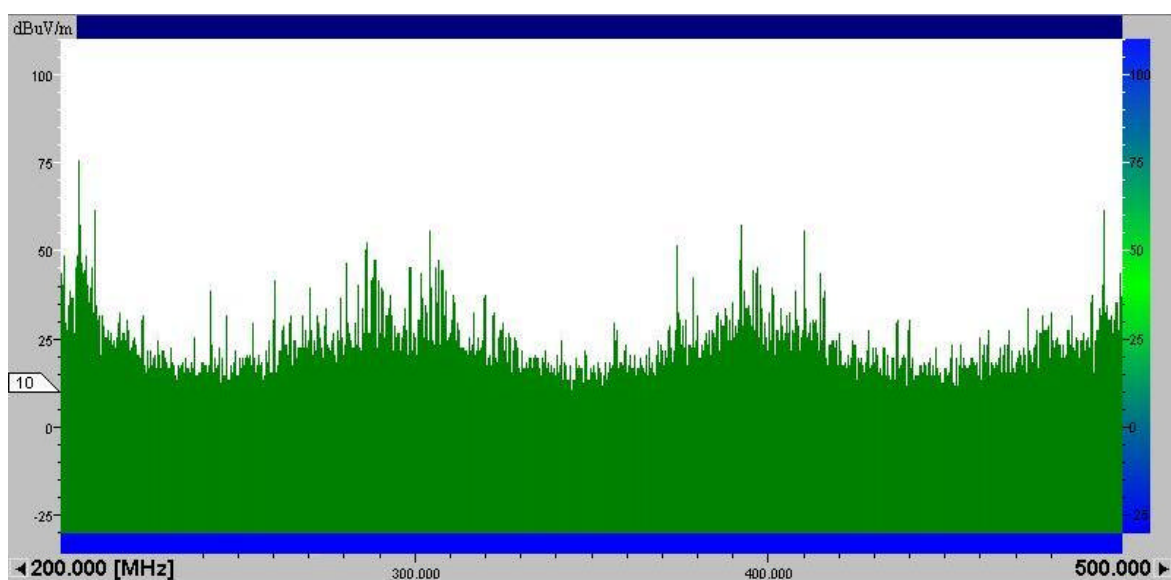


Figura 16 – Medição no Morro da Cruz

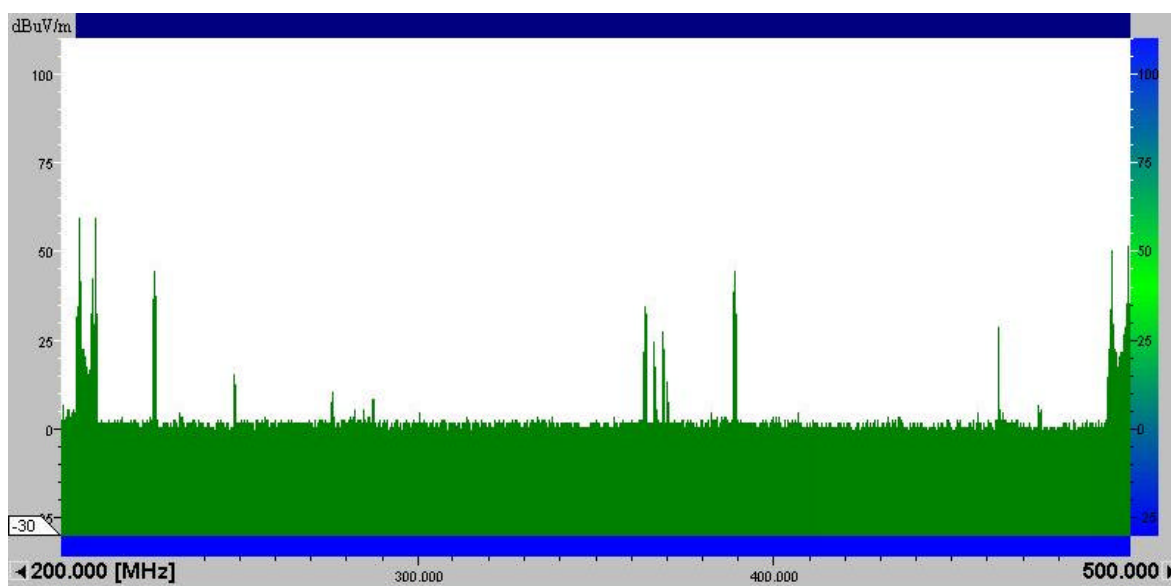


Figura 17 – Medição no Campus da UFSC

3.5.5 Espectro de 500 MHz a 3 GHz

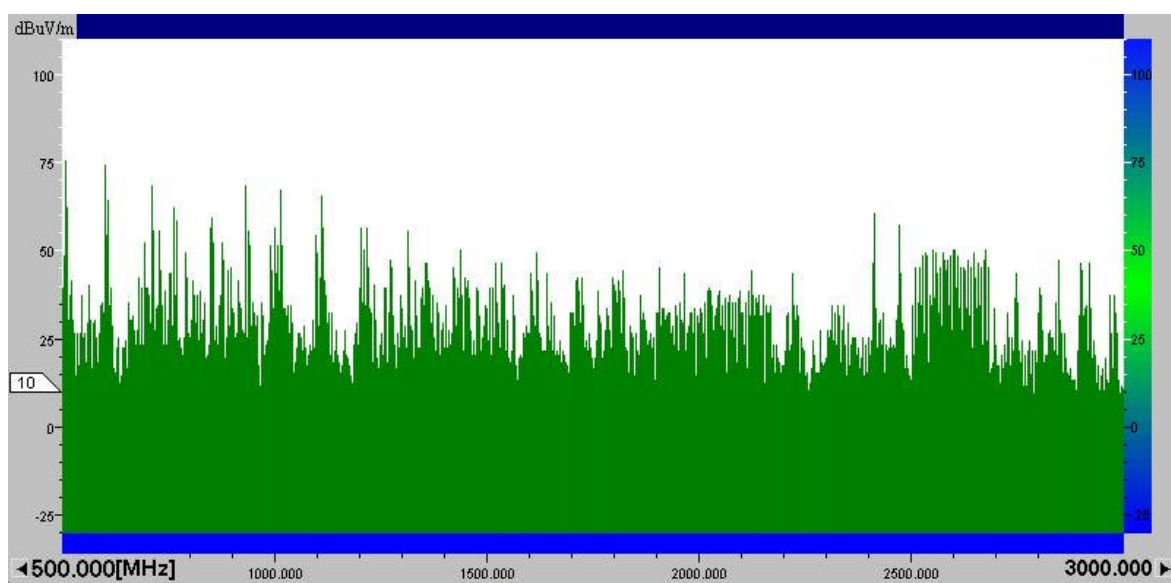


Figura 18 – Medida no Morro da Cruz

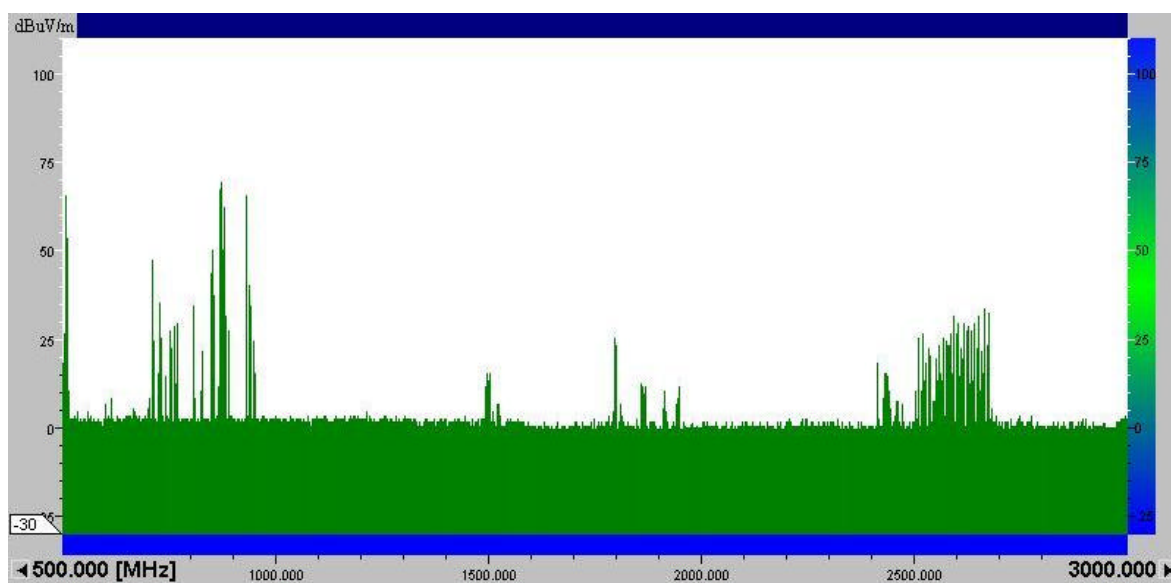


Figura 19 – Medida no Campus da UFSC

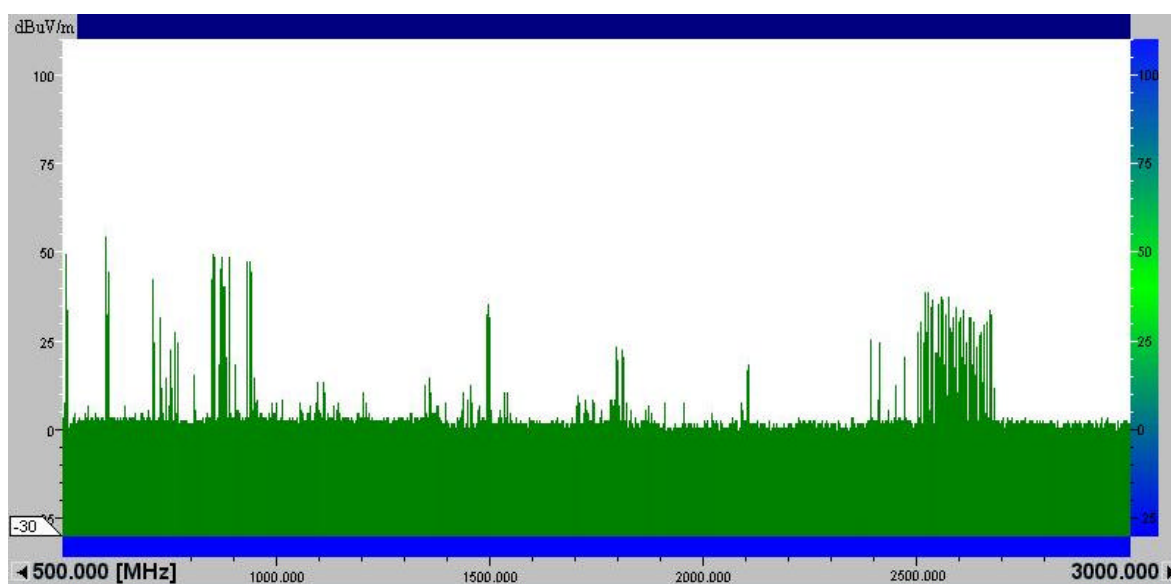


Figura 20 – Medida no Campus do CEFET-SC

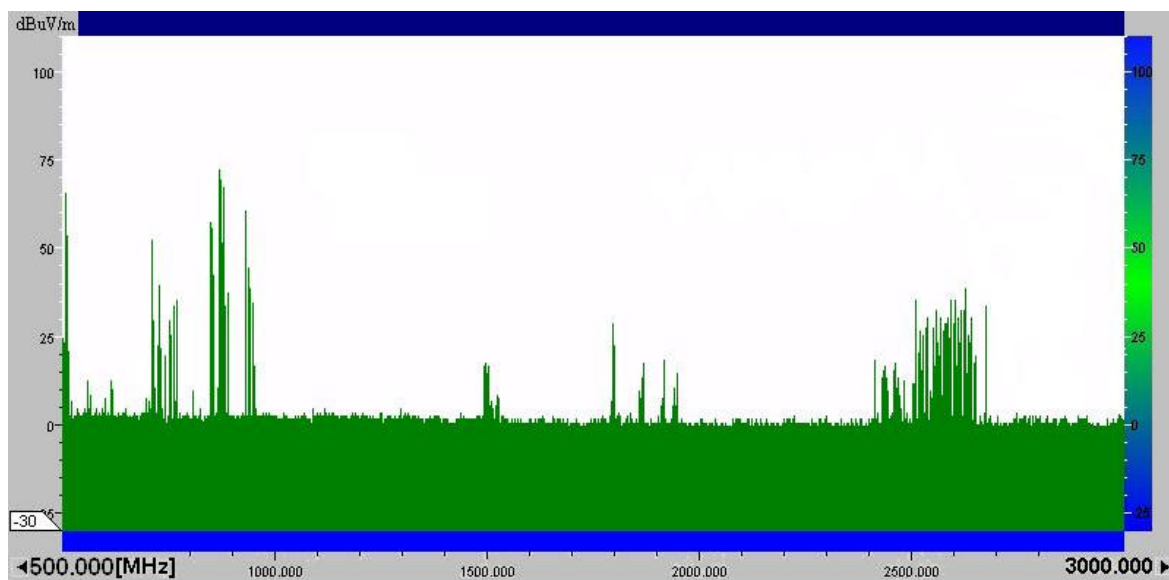


Figura 21 – Medida no Alto da Felipe Schmidt

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS – CONCLUSÕES

4.1 AVALIAÇÃO EM RELAÇÃO AO REGULAMENTO DA ANATEL

O resultado das medições compõe-se de cerca de trinta gráficos, neste trabalho são apresentados alguns, suficientemente significativos para embasar a avaliação.

A partir do gráfico da figura 21, extraído da Regulamentação da ANATEL, que apresenta os limites de campo elétrico para cada faixa de frequência, comentar-se-ão os mapas das medições efetuadas.

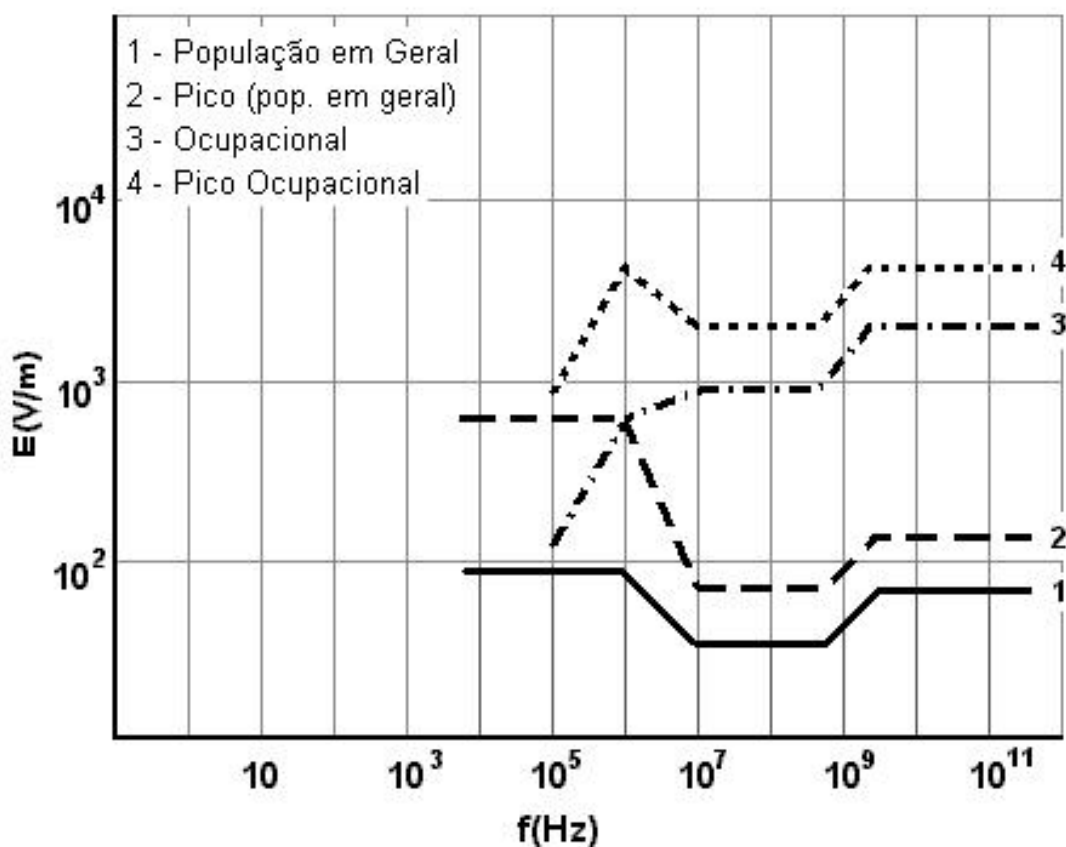


Figura 22 – Limites de exposição a campos elétricos [15]

Na faixa de medição de 10 kHz a 1000 kHz, a regulamentação recomenda nível máximo de 87 V/m de intensidade de campo elétrico, para exposição do público em geral, as três medições foram agrupadas apenas para justificar os níveis insignificantes de radiofrequência nos ambientes analisados. Observe-se

que no Morro da Cruz o nível maior está em torno de 55 dB μ V/m, o que representa um campo elétrico de 470 μ V/m.

Nesse intervalo, os sinais no Morro da Cruz são majoritariamente decorrentes dos ruídos de equipamentos em operação, além de algumas estações transmissoras na faixa de amplitude modulada (AM), a rádio comunicação comercial inicia em 540 kHz até 1700 kHz.

Observa-se, tanto no CEFET-SC quanto no Alto da Felipe Schmidt, que os sinais expressivos são das estações de rádio a partir de 700 kHz.

Na faixa de medição de 1 MHz a 20 MHz, a regulamentação recomenda dois intervalos. De 1 MHz a 10 MHz, o campo elétrico deve variar de 87 V/m até 28 V/m, satisfazendo a relação $87/f^{1/2}$, de 10 MHz a 20 MHz os níveis não devem ser superiores a 28 V/m. As medições mostram que essa faixa é ainda menos expressiva do ponto de vista da regulamentação, poucos sinais atingem 25 dB μ V/m, o que corresponde a um campo elétrico de cerca de 18 μ V/m.

A faixa de medição de 20 MHz a 200 MHz é a que tem mais expressivos níveis de sinal, para a qual se dedica maior atenção, neste estudo.

Nessa faixa encontram-se emissoras de rádio FM e televisão, cuja potência dos transmissores são elevadas para garantir propagação do sinal em toda a área metropolitana; há também, nessa faixa, outros sistemas de comunicação, mas com transmissores de menor potência.

A regulamentação de níveis de campo elétrico neste intervalo é de 28 V/m, essa é a faixa em que há maior absorção de energia pelo ser humano, uma vez que o comprimento de onda se aproxima das dimensões do corpo em pé. Começa nesse intervalo, a partir de 10 MHz, a limitação de exposição pela densidade de potência de 0,2 mW/cm².

No Morro da Cruz, os níveis de sinal são bastante intensos estando quase que integralmente em torno de 60 dB μ V/m, o que representa um campo elétrico de cerca de 1000 μ V/m ou 1,0 mV/m. Ainda que nenhum sinal ultrapasse o limite da norma, é preciso avaliar o efeito cumulativo de absorção de potência, pois é a região do espectro onde há maior absorção de energia, portanto a que merece maior atenção.

Os picos de sinal nos demais pontos de medição (UFSC, CEFET e Alto da Felipe) apresentam níveis de até 75 dB μ V/m, o que representa um campo elétrico de cerca de 5600 μ V/m, ou 5,6 mV/m.

Na faixa de medição em epígrafe, considerando-se os vinte sinais mais expressivos, com valor de campo elétrico acima de 50 dB μ V/m, ou 317 μ V/m, aplicando-se o critério da Regulamentação da ANATEL, pela equação:

$$\frac{E_{NM_1}}{E_{LE_1}} + \frac{E_{NM_2}}{E_{LE_2}} + \dots + \frac{E_{NM_n}}{E_{LE_n}} \leq 1 \quad [15]$$

Onde E_{NM} representa os valores do campo elétrico e E_{LE} o valor limite de exposição (28 V/m); temos como resultado, um coeficiente de 0,00023, significativamente abaixo da unidade. Isso significa que o efeito cumulativo ainda é desprezável, para tal intervalo.

Entre 200 MHz e 500 MHz, região da medição seguinte, a recomendação é de exposição para público em geral de 28 V/m entre 20 e 400 MHz, aumentando até cerca de 31 V/m até 500 MHz. Recomendação semelhante dá-se em relação à Potência Absorvida que é de 0,2 mW/cm², de 20 a 400 MHz, aumentando até 0,25 mW/cm² em 500 MHz.

No Morro da Cruz, o maior sinal chega a 75 dB μ V/m, o que corresponde a um campo elétrico de cerca de 5600 μ V/m, ou 5,6 mV/m. Nos demais pontos de medição os sinais estão muito abaixo dessa condição.

Para a faixa de 500 MHz a 3000 MHz, os níveis de sinal decaem substancialmente em relação à faixa anterior. Nesse intervalo do espectro eletromagnético, estão a telefonia móvel celular e os enlaces de microondas, dentre outras fontes de radiação de RF.

Os níveis de sinal na UFSC, CEFET e alto da Felipe estão agrupados em dois grandes grupos: a telefonia celular e os enlaces de microondas. A telefonia celular ocupa a faixa em torno dos 800 MHz, os níveis de sinal chegam a 75 dB μ V/m, o que representa um campo elétrico de cerca de 5,6 mV/m, mas as fontes de sinal estão em pequena quantidade. Mesmo somando-se todos os sinais, no pior caso, o resultado estaria muito abaixo dos 39 V/m em 800 MHz.

Nessa faixa também situa-se a transmissão de dados por RF, na faixa de 2000 MHz, hoje comum no serviço comercial de Internet. Seus valores nunca ultrapassam 25 dB μ V/m, o que corresponderia a um campo elétrico de cerca de 18 μ V/m.

Ao contrário da preocupação com a telefonia celular e suas estações rádio base (ERB), esse serviço não representa incremento significativo nos sinais presentes nos ambientes urbanos, mesmo considerando que a maioria dos sinais de RF estão localizados no Morro da Cruz, as ERB's estão espalhadas por toda a cidade, no entanto a potência dos transmissores é significativamente menor que quaisquer outros serviços de telecomunicações.

4.2 AS FAIXAS MAIS CRÍTICAS – VALORES RELATIVOS

Especial atenção deve ser dada aos níveis de sinal na faixa de 20 MHz a 200 MHz, principalmente por que:

- é o intervalo de freqüências em que o organismo humano médio tem a maior taxa de absorção de energia, pois os comprimentos de onda do sinal são proporcionais às dimensões do corpo;
- é o intervalo onde há a maior concentração de fontes de radiação de radiofreqüência, a qual tende a crescer ainda mais pela instalação de novas estações transmissoras, bem como outros serviços públicos e privados de radiocomunicação;
- ss estações transmissoras nesta faixa, geralmente têm transmissores de elevadas potências para garantir o longo alcance de seus sinais;
- particularmente em Florianópolis, a concentração de emissoras e os níveis de sinal, dificilmente atingirão valores críticos, pois a elevação do Morro da Cruz e seu exíguo espaço para implantação de habitações ou edificações para outras atividades é limitada. Para outras cidades onde as antenas estejam concentradas em áreas planas ou densidade populacional elevada, é necessário um acompanhamento mais criterioso dos níveis de RF.

4.3 A POLÊMICA CONTINUA

A quantidade de equipamentos geradores de radiação eletromagnética tende a aumentar, não apenas em variedade em um mesmo ambiente, mas em universalizarem-se pelo maior acesso da população ao consumo; o que torna o estudo sobre efeito biológico cada vez mais iminente. Tal aumento incide também diretamente no maior tempo de exposição da população à radiação eletromagnética, o que só contribui para uma maior preocupação com os efeitos e riscos biológicos.

Por outro lado, com o avanço tecnológico, a potência associada aos equipamentos tem-se reduzido significativamente, como exemplo, podem ser citados os telefones celulares: inicialmente os modelos analógicos dissipavam potências em torno de 600 mW, os recentes celulares digitais dissipam potências da ordem de 150 mW. Tal fenômeno contribui para a redução dos níveis de exposição.

As normas de Compatibilidade Eletromagnética presentes em vários países, mas ainda não no Brasil, tratam da interferência e susceptibilidade dos equipamentos aos campos eletromagnéticos, estabelecem limites de nível de ruído, que obriga fabricantes a diminuir a emissão conduzida ou radiada, o que contribui ainda mais para a redução das emissões eletromagnéticas, nos territórios onde vigoram.

Quanto à radiação de RF, principal fonte de preocupação, pelo incremento significativo de seu uso, mas, sobretudo pela ampliação das faixas de frequência, o que tem tornado a exposição preocupante não é apenas sua intensidade, mas sobretudo a diversidade de comprimentos de onda em um mesmo ambiente.

Um aspecto essencial no estudo dos níveis de radiação eletromagnética em ambiente urbano é o aspecto estocástico, implicando em que os efeitos de fenômenos tão sutis, imersos em um grande conjunto de variáveis afetantes das condições de saúde, como as causas do câncer, dependem fundamentalmente do tempo. Explique-se: qualquer alteração epidemiológica em populações sujeitas a variáveis não isoláveis carece de permanente acompanhamento por longos períodos, anos ou décadas, no mínimo.

Quando se faz referência a um conjunto de variáveis afetantes, inclui-se a alimentação (especialmente os alimentos processados), defensivos agrícolas, drogas, poluição e aumento do estresse individual como reconhecidos fatores de aumento nas doenças, como câncer, distúrbio de comportamento e aprendizagem, no mundo contemporâneo.

A maioria das fontes de radiação eletromagnética, geralmente “acusadas” de risco biológico tem sua operação recente, isto é, a ampliação do parque instalado em telecomunicações: telefonia móvel celular, enlaces de satélites, transmissão de dados, e, especialmente toda a diversidade de eletrodomésticos é recente, em termos epidemiológicos, para esse fenômeno. Dessa forma, não é prudente, sensato nem científico buscar “culpa” ou “absolvição” da radiação eletromagnética. Por outro lado, obedecendo-se aos níveis baseados em estudos confirmados e acompanhando-se os estudos em curso, a ciência está contribuindo para uma importante dualidade: primeiro - garantindo que o avanço tecnológico permita o incremento da qualidade de vida da população pelo acesso a bens e serviços consolidados e importantes do ponto de vista social (equipamentos eletromédicos, imagem médica, comunicação, acesso à informação, dentre outros); segundo - com níveis máximos já estabelecidos de exposição à radiação eletromagnética, assegura-se à população condições mínimas de proteção.

Em termos de segurança, o que deve ser garantido à população é que se obedeça aos níveis máximos de exposição impostos por normas nacionais, ou internacionais, as quais levam em consideração valores razoavelmente baixos. Além do mais, estando tais organismos em permanente discussão, suas normas estão sujeitas à revisão, bem como alteração de seus limites, buscando levar a pesquisa científica à melhoria da qualidade de vida. Portanto, as companhias que utilizam radiação eletromagnética devem ter suas estações e antenas aferidas por instituição de credibilidade, num programa de fiscalização com protocolo normatizado, fechando assim um círculo que inclua os benefícios da tecnologia, com a garantia da qualidade de vida que a observância à norma permite, dissipando a especulativa polêmica!

Florianópolis, Verão de 2003

Paulo Roberto Wollinger

REFERÊNCIAS

- [1] ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, **Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)**, Health Physics, no. 4, volume 74, pp-494-522, April 1998.
- [2] R. TIMOTHY HITCHCOCK and ROBERT M PATTERSON, **Radio – Frequency and ELF Electromagnetic Energies – A Handbook for Health Professionals (Charter 4: Exposure Standards and Guidelines)**, ITP Van Nostrand Reinhold –International Thomson Publishing Inc., 1995.
- [3] COST 244, **Round Table: Comparison of National and EU Standards – State of the Art – Implementation of Measuring Methods**, Proceedings of the VII COST 244 Workshop on Standards, Zagreb, 5 – 6 October, 1996.
- [4] OET BULLETIN 56 (fourth edition), Questions and Answers About **Biological Effects and Potential Hazards of Radio-frequency Electromagnetic Fields**, Federal Communications Commission (FCC) Office of Engineering & Technology, August 1999. Available in: <http://www.fcc.gov>.
- [5] Federal Communication Commission - FCC, **Office of Engineering and Technology**, disponível em: www.fcc.gov/oet.
- [6] STEWARD, SIR WILLIAM, **Mobile Phones and Health**, Independent Expert Group on Mobile Phones, May 2000. Available in: <http://www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm>.
- [7] OSEPCHUK, JOHN and PETERSEN, RONALD, **Safety Standards for Exposure to RF Electromagnetic Fields**, Microwave, pp. 57 – 69, June, 2001.

- [8] MOULDER, JOHN E., **Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health**, in Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin, July 2000. Available in: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop>.
- [9] M. A. STUCHLY, **Mobile Communication Systems and Biological Effects on their Users**, The Radio Science Bulletin, URSI, no. 275, pp. 7-12, December, 1995.
- [10] FOSTER, K. R. and MOULDER, J. E., **Are mobile phones safe?** , *IEEE Spectrum*, pp. 23-28, August 2000.
- [11] COMAR REPORTS, **Human Exposure to Radio Frequency and Microwave Radiation from Portable and Mobile Telephones and Other Wireless Communication Devices – A COMAR Technical Information Statement**, IEEE Engineering and Medicine and Biology, pp. 128 – 131, January/February, 2001.
- [12] MIRO, LUIS and DE SEZE, RENE, **COST 244- Round Table: Critical Study of the Present Standardization in the Radio Frequency Range**, Proceedings of the VII COST 244 Workshop on Standards, Zagreb, 5 – 6 October, 1996.
- [13] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), **International EMF Project**, disponível em: <http://www.who.int/emf>.
- [14] MTE – Ministério do Trabalho e Emprego, acesso a todas as NR (**Normas Regulamentadoras**) da Secretaria de Segurança e Saúde do Trabalho: <http://www.mte.gov.br>.
- [15] ANATEL – Agencia Nacional de Telecomunicações, **Regulamento sobre a Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e**

Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, Resolução 303/02, no endereço Internet <http://www.anatel.gov.br>.

- [16] BASTOS, JOÃO PEDRO ASSUMPÇÃO. **Eletromagnetismo e Cálculo de Campos**. 3 ed. Florianópolis, Editora da UFSC, 1996.
- [17] PAUL, C. R., **Introduction to Electromagnetic Compatibility**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992.
- [18] THE ROYAL SOCIETY OF CANADA, **A review of the Potential Health Risks of Radio-frequency Fields from Wireless Telecommunication Devices**, The Royal Society of Canada Press, Ottawa, Ontario, march 1999.
- [19] POLK, CHARLES & POSTOW, ELLIOT, **Biological Effects of Electromagnetic Fields**, 2nd Edition, CRC Press, 1995.
- [20] VITALE, LOW, **Guide to Solve AC Power EMF Problems in Commercial Buildings**, © Vita Tech Engineering, 1995.
- [21] ASHLEY, J. ROBERT, **Are Power Lines Unsafe?**, IEEE SPECTRUM, July 2000.
- [22] MOULDER, JOHN E., **Static Electric and Magnetic Fields and Human Health: Questions and Answers**, in Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin, March 2000.
- [23] MOULDER, JOHN E., **Power Lines and Cancer FAQ's**, in Electromagnetic Fields and Human Health, Medical College of Wisconsin, March 2000.
- [24] MOULDER, JOHN E., **An Assessment of the Evidence Relating to Radiofrequency Radiation and Cancer**, Report on Behalf of the Federation

of the Electronics Industry, October 1999.

- [25] WOOGARA, ANITA, **Study to Predict the Electromagnetic Interference for a Typical House in 2010**, Bristol University, March, 2000.

- [26] NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES, **Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power**, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, September 1996.

- [27] REPACHOLI, M. H. and BASTEN, A., **Lymphomas in Em-Pim 1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields**. Radiation Research, 147, 631-640, 1997.